

DIE HYDROSTATISCHE WIRKUNG DES BADES AUF DEN BRUST-
BAUCHUMFANG UND DIE ATEMMITTELLAGE

Hossein Ghafari-Nazari

1976

Aus dem Institut für Medizinische Balneologie und
Klimatologie
der Universität München

Vorstand: Prof. Dr. H. Drexel

Die hydrostatische Wirkung des Bades auf den Brust- und
Bauchumfang und die Atemmittellage.

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin

an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Hossein Ghafari-Nazari

aus Teheran (Iran)

München 1976.

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches Medizin
der Universität München.

Berichterstatter: Prof. Dr. H. Drexel

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 4. 5. 1976



A. Einleitung	S. 1
B. Bestimmung	S. 3
C. Literaturverzeichnis	S. 4
D. Meinem Eltern	
und	
meiner Frau	
gewidmet	
I) Gedicht	S. 7
II) Gedicht	S. 21
III) Gedicht	S. 23
E. Gedicht	S. 27
I) Gedicht	S. 27
II) Gedicht	S. 29
F. Gedicht	S. 31
G. Gedicht	S. 33
H. Gedicht	S. 35

Inhaltsverzeichnis

A	Einleitung	S. 1
B	Problemstellung	S. 3
C	Literaturübersicht	S. 4
D	Methodik	S. 7
	I) Geräte	S. 7
	II) Versuchsablauf	S. 21
	III) Eichung	S. 23
E	Ergebnisse	S. 27
	I) Umfangsänderungen	S. 27
	II) Änderung der Atemgrößen	S. 32
F	Diskussion	S. 48
G	Zusammenfassung	S. 56
H	Literaturverzeichnis	S. 58

A. Einleitung

Nach Witzleb (37) beruhen die Wirkungen von Bädern teils auf spezifischen, teils auf unspezifischen Effekten. Die spezifischen Wirkungen sind zurückzuführen auf Inhaltsstoffe des Wassers, wie etwa in CO_2 -, Moor- und Solbädern. Strasburger (33) beispielsweise fand unter der Einwirkung von Solbädern eine das Schlagvolumen steigernde Anregung des Herzens. Gollwitzer-Meier (14) schrieb dem CO_2 -Bad eine auf das Kreislaufzentrum wirkende Anregung des Kreislaufs und eine Kapillarisation der Haut zu.

Die unspezifischen Wirkungen teilt man in mechanische und thermische Wirkungen. Die Komponenten der mechanischen Einflüsse sind Auftrieb und bei Bewegung des Wassers (Wellenbad, UW-Strahlmassage) oder des Badenden (UW-Gymnastik) die Wirkungen der Viskosität (Reibung, Bewegungswiderstand). Diringshofen (7) betont die durch den Auftrieb bewirkte Gewichtsentslastung und die verminderte Beanspruchung der Gleichgewichtsregulation, was eine weitgehende Entspannung der Skelettmuskulatur zur Folge habe. Der hydrostatische Druck ist abhängig vom spezifischen Gewicht des jeweiligen Mediums und von der Höhe des Wasserspiegels in Relation zum Körper des Badenden.

Hinweise auf einzelne Arbeiten, die sich mit den Wirkungen des hydrostatischen Druckes z. B. auf Atmung, Herz und Kreislauf beschäftigen, sind der Literaturübersicht zu entnehmen.

Von Bedeutung sind auch die thermischen Einflüsse des Badewassers. Drexel (8) beschreibt die unter stärkerer Temperatureinwirkung auftretenden Veränderungen der Blutzusammensetzung: Langanhaltende Wärme- oder Kälteeinwirkungen führen zu Blutverdickung, und diese wiederum bewirkt eine Zunahme der Erythrozytenzahl, des Hämoglobins und der Leukozytenzahl der myeloischen Reihe, dagegen eine Abnahme der Lymphozytenzahl. Bei den eosinophilen Zellen erwähnt Drexel ebenfalls eine Abnahme, während

Serumeiweißgehalt, die Gesamt- N- Verbindungen, Blutzucker und Kochsalzspiegel ansteigen. Im hormonalen System ist nach Drexel bei intensiven Wärme- und Kältereizen eine Aktivierung der Hypophysen- Nebennierenrindenachse zu beobachten.

Die Magen- und Darmperistaltik sowie die Magensaft- und Gallensekretion werden durch Wärmeapplikationen erhöht, die Diurese wird ebenfalls gefördert.

In warmen Bädern, d. h. bei einer Wassertemperatur von 39° - 40° , nehmen nach Gollwitzer- Meier (15) die Gaswechselwerte um durchschnittlich 10-12%, das Herzminutenvolumen um ca. 30% zu. In kalten Bädern (Wassertemperatur unter 32°C) steigt der Gaswechsel stärker an als in warmem Wasser, während die Auswurfleistung des Herzens um etwa 25% abnimmt.

Der Thermoindifferenzpunkt wird von Jürgensen definiert als der Wärmegrad, bei dem es beim Gesunden zu keiner ausgesprochenen Wärme- oder Kälteempfindung kommt. Auch Ebbecke (9) betont die Bedeutung des "sich- Kalt- oder Warmfühlers". Strasburger (33) fand den Indifferenzpunkt des Wassers für den Blutdruck bei 34° und 35°C , den für die Pulsfrequenz bei 34° - 36°C . Nach Kramer (20) liegt der Indifferenzpunkt bei 35°C , da bei dieser Temperatur ein Minimum des Energieumsatzes erreicht wird. Witzleb (37) stellt fest, daß thermoindifferent empfundene Temperaturen in Süßwasserbädern mit individuellen Unterschieden zwischen 34° und 36°C , in CO_2 - Bädern zwischen 32° und 34°C und in Moorbädern bei 38°C liegen. Den Ausführungen Hildebrandts und Engelbertz' (18) zufolge ist der Organismus morgens kälteempfindlicher als am Abend. Aufgrund ihrer Beobachtungen definierten Hildebrandt und Engelbertz den Thermoindifferenzpunkt als eine tagesrhythmisch veränderliche Größe.

In der vorliegenden Arbeit, die einen Teilaspekt der hydrostatischen Wirkungen von Süßwasserbädern behandelt, wurden, um temperaturbedingte Einflüsse auszuschalten, alle Versuche in thermoindifferentem Wasser durchgeführt.

B. Problemstellung

Auf Anregung von Herrn Dipl.-Phys. K. Dirnagl und Herrn Prof. H. Drexel untersuchte K. Kaiser in einer Versuchsreihe die hydrostatische Wirkung des Bades auf Brust- und Bauchumfang.

Die vorliegende Arbeit hat die Darstellung und Auswertung der Untersuchungen Kaisers zum Inhalt.

Folgende Fragen sollen geklärt werden:

1. Wie verändern sich Brust- und Bauchumfang beim Eintauchen in Wasser?
2. Wie verhält sich die inspiratorisch- expiratorische Atemruhelage im Medium Wasser im Vergleich zum Medium Luft?
3. Wie verändert sich die maximale Amplitude bei der Ein- und Ausatmung unter den Vergleichsbedingungen Wasser bzw. Luft?
4. Wie wird beim Übergang von Luft zu Wasser und umgekehrt der Quotient aus Inspiration und Expiration beeinflußt?
5. Welche Auswirkungen auf die Atemfrequenz ergeben sich unter den genannten Vergleichsbedingungen?

Für die physikalische Therapie sind diese Fragen von einiger Bedeutung, da eine genauere Kenntnis der Wirkung des Wasserdruckes auf den Atmungsapparat eine gezieltere Therapie ermöglicht.

C. Literaturübersicht

Noch im Jahre 1897 schrieb Glax (12) dem thermoindifferenten Bad keinen wesentlichen Einfluß auf Körpertemperatur, Puls und Blutdruck zu. Sechs Jahre später meinte Matthes (23), daß der Druck des Wassers im Bade, der durchschnittlich 40 - 50 cm Wasser betrage, im Vergleich zum Luftdruck = 750 mm Hg keine wesentliche Rolle spiele.

Erst nach weiteren sechs Jahren begann man von dieser Vorstellung abzurücken. Als erster fand Strasburger (34) im Jahre 1909, daß der Druck des thermoindifferenten Badewassers eine größere Rolle spielte, als man bis dahin angenommen hatte. Die in einer Versuchsreihe von ihm festgestellte Abnahme des Brust- und Bauchumfangs führte er zurück auf den Druck des Wassers, der nur von außen auf den Körper wirkt, während beim innen und außen wirkenden Atmosphärendruck die einzelnen Druckkomponenten sich gegenseitig aufheben.

In der Folgezeit wurden noch viele weitere Wirkungen des hydrostatischen Druckes entdeckt. Tigerstedt (35) und Sjöström (32) stellten 1918 im Tierversuch beim Eingießen des Badewassers - unabhängig von dessen Temperatur - eine kontinuierliche Steigerung des Herzminutenvolumens fest, das sein Maximum beim höchsten Wasserstand erreichte. Eine analoge Steigerung wurde beim Blutdruck gefunden.

1934 führte Budelmann (3) die entsprechenden Versuche am Menschen durch und stellte bei einer Messung des Herzminutenvolumens 20 Minuten nach Beginn des Bades eine Steigerung auf das Doppelte des Ausgangswertes fest.

Im Jahre 1922 fand Schott (30), daß der hydrostatische Druck im Bad einen Anstieg des intrathorakalen und intraabdominalen Druckes bewirkt.

1931 stellte Bock (2) bei Versuchen an toten Hunden fest, daß sich der hydrostatische Druck von Bädern auf den Brustinnenraum zu 70% und auf den Bauchraum zu 80% überträgt. Außerdem fand er, daß dieser Druck an den Extremitäten

täten mit 86 % noch stärker wirkte.

Auch Gollwitzer - Meier (14) bestätigte im Jahre 1935 die Zunahme des intrathorakalen Druckes. Die Ursache dieser Zunahme sah sie darin, daß der Wasserdruck den Brustkorb stärker komprimiert als die Lunge nachgibt.

Comroe (4) schrieb 1968, daß beim Eintauchen unter die Wasseroberfläche zunehmende Inspirationsschwierigkeiten auftreten und in einer Tiefe von 125 - 150 cm schließlich überhaupt keine Luft mehr eingeatmet werden kann.

1923 konstatierte Schott (31) beim Anstieg des Wasserspiegels eine Erhöhung des Druckes im venösen System. Budelmann (3) stellte 1934 fest, daß sich im Bad ein kurzdauernder starker Anstieg des Venendruckes, dann fortlaufend eine Erhöhung des Venendruckes um etwa 2-3 cm gegenüber dem Ruhewert nachweisen lasse. Zwei Jahre später sprachen Krüger und Budelmann (22) von einem Druckanstieg in den intra- und extrathorakalen Venen. Sie sahen die Änderung dieses Venendruckes, soweit es sich um Venen aus dem Gebiet oberhalb des Thorax handelte, in Abhängigkeit von der Größe der intrapleurale Druckänderung.

1930 beobachtete Moll (24) eine Abnahme des Fußvolumens in Stehbädern, nicht aber in Fuß- und Sitzbädern. Da er bei Bädern verschiedener Temperatur zu demselben Ergebnis kam, schloß er daraus, daß die Volumenverminderung eine Folge der Preßwirkung des Wasserdruckes sein müsse, wobei die geringere Wasserhöhe und damit der kleinere hydrostatische Druck bei Fuß- und Sitzbädern das Gleichbleiben des Fußvolumens erklärt. Aufgrund ihrer Beständigkeit brachte er die Volumenverminderung mit dem Auspressen von Gewebssaft und Lymphe in Verbindung.

1935 ließ Gollwitzer - Meier (14) Versuchspersonen auf einem versenkbaren Ruhebett ins Wasser tauchen. Sie stellte fest, daß eine Änderung der respiratorischen Mittellage bereits dann einsetzte, wenn das Wasser Nabelhöhe erreichte. Solange der Wasserspiegel weiter angehoben wurde, hielt auch die Auspressung der Reserveluft an. Ihre Beobachtung führte Gollwitzer - Meier auf die Wirkung des hydrostatischen Druckes zurück.

1935 konstatierte Sarre (28) eine größere Abnahme des inspiratorischen als des expiratorischen Volumens. Im Jahre 1936 beobachteten Kramer und Sarre (21) unter dem Einfluß des Wasserdruckes eine " vollständige Umstellung der Atmung ". Sie stellten fest, daß die Abnahme des Atemminutenvolumens um 1 - 2 l auf Kosten der mittleren Atemtiefe und damit auf Kosten der Reserveluft gehe. Im selben Jahr schrieben Krüger und Budelmann (22), es sei ein Absinken des Atemvolumens um ca. 60% zu beobachten, während die Atmung flacher und frequenter werde.

Rumpf (27) beobachtete 1937 eine verlängerte Dauer des einzelnen Atemzuges, das heißt von Inspiration plus Expiration, sowie eine Abnahme des Atemvolumens und des Atemminutenvolumens. Witzleb (37) schreibt im Jahre 1962, daß " in thermoindifferenten Süßwasserbädern initiale, vermutlich mit den Veränderungen der Blutverteilung und der Atemmechanik zusammenhängende reflektorisch ausgelöste Steigerungen des Atemminutenvolumens " auftreten, " die im weiteren Verlauf in Abnahme übergehen ". Diese Veränderungen sah er in engem Zusammenhang mit den Wirkungen des hydrostatischen Druckes.

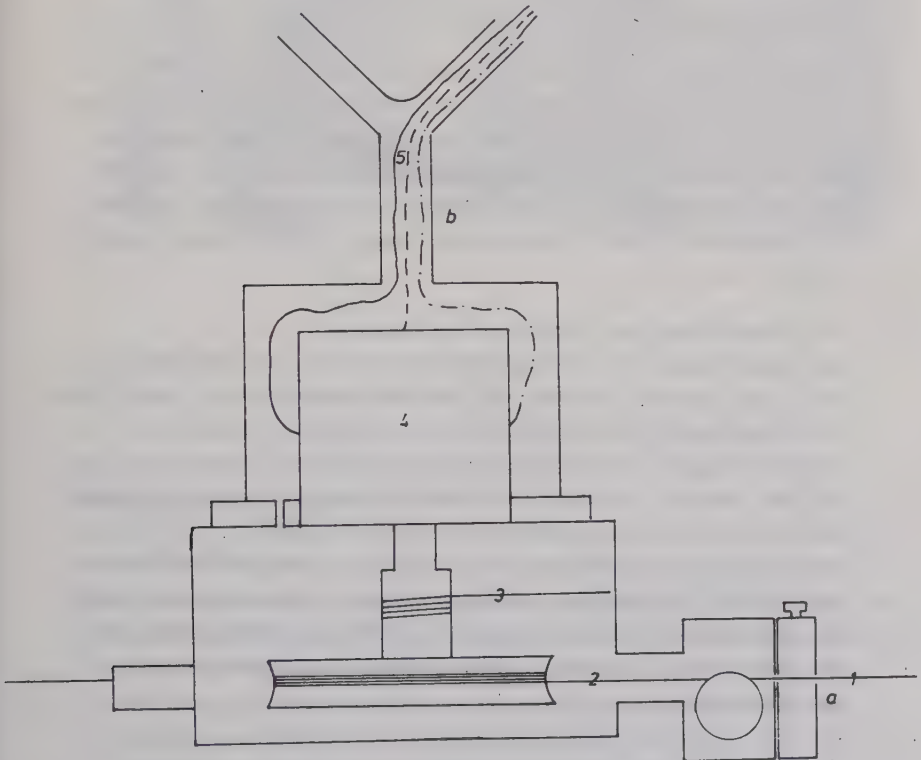
D. Methodik

I. Geräte

Da Messungen an der Luft und im Wasser vorgenommen wurden, muß die Meßapparatur so gebaut sein, daß sie in trockenem und nassem Zustand gleichermaßen funktioniert.

a) Meßfühler für Umfangsänderungen

Für unsere Untersuchungen wurden zwei aus Plexiglas bestehende Meßfühler in Form von wasserdichten Kapseln benötigt. Sie haben jeweils zwei Öffnungen. Die Meßfühler in den Kapseln und ihre Funktionsweise werden anhand von Abbildung (1) dargestellt.



(Abb. 1)

Jede Kapsel enthält: 1) Nylondraht, 2) Seilrolle, 3) Uhrfeder, 4) Ringpotentiometer.

Der Nylondraht tritt durch eine Öffnung (a) in die Kapsel ein und läuft über die Seilrolle (2). Eine Uhrfeder ist am Rand der Kapsel befestigt und um die Achse der Seilrolle gelegt; sie bewirkt Spannung und Aufspulen des Nylondrahtes bei Brust- bzw. Bauchumfangsänderungen der Versuchspersonen. Die Achse der Seilrolle verbindet diese mit dem Potentiometer (4). Auf diese Weise wird die Umfangsänderung in das Potentiometer geleitet, wo eine Umwandlung in elektrische Spannungsänderung erfolgt. Diese wird über Kabel durch die Ableitungsöffnung (b) der Kapsel zum Registrierungsgerät weitergeführt.

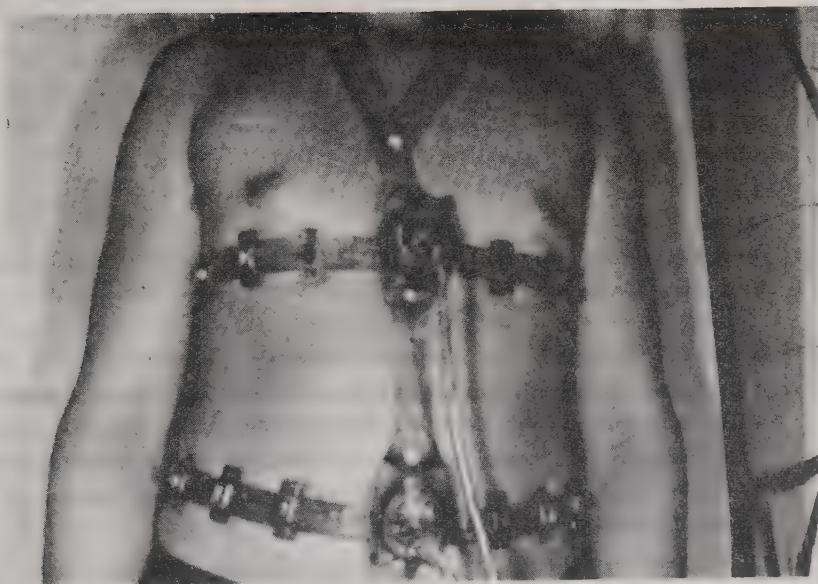
I) Die Lage der Kapseln. (Abb.2, S.9)

1. Befestigung der Kapsel A an der Brust:

Bei weiblichen Versuchspersonen befestigt man den Gurt am Unterrand der Mamma, so daß die Kapsel in Höhe des Processus Xiphoidicus mit der Grundfläche am Körper anliegt. Bei männlichen VP wird der Gurt am Unterrand des Musculus Pectoralis Maior befestigt, wenn dieser stark ausgebildet sein sollte.

2. Befestigung der Kapsel B am Bauch:

Bei männlichen und weiblichen VP in Höhe des Beckenkammes. Die Kapseln werden mit dem Halteband durch zwei Knöpfe verbunden. Beim ersten Versuch wird die Nummer des oberen Knopfes, der die für die jeweilige VP optimale Lage der Kapsel festlegt, aufgeschrieben. Bei den folgenden Versuchen mit der gleichen VP wird die Kapsel schon vor Anlegen des Haltebandes an der vorher ermittelten Stelle befestigt. Die Kapsel wird so gedreht, daß sich die Buchse, durch die der Draht geht, in Nähe der Körperoberfläche befindet. In dieser Lage reicht die Kapsel kaum auf die Bauchdecke.



(Abb. 2)

II) Bau der Kapseln.

1. Nylondraht

Das eine Ende des Nylondrahtes ist an der Außenseite der Kapsel mit Hilfe einer Schraube befestigt. Der Nylondraht verläuft über dem zu messenden Körperumfang im Abstand von ca 0,5 cm von der Haut auf Rollen. Diese sind auf Platten montiert und können mit einem Gurt um den Körper der VP gelegt werden. Das andere Ende des Nylondrahtes führt durch die Öffnung (a) in die Kapsel und ist dort an die Seilrolle gebunden. Um ein Hineinschnellen

des Nylondrahtes in die Kapsel zu verhindern, wird am Austritt aus derselben eine Klemme am Draht angebracht. Der Draht soll unter leichtem Zug stehen, da er sonst von der Spule leicht abrutscht. Als Material für den Draht schien Nylon besonders geeignet. Gründe dafür sind: geringe Dehnbarkeit, glatte Oberfläche und dadurch bedingt geringer Reibungswiderstand, sowie kaum ins Gewicht fallende Änderung seiner Eigenschaften im Wasser.

2. Seilrolle

Die Seilrolle dient als Spule, auf der der Nylondraht auf- und abgewickelt wird.

3. Feder

Die Feder setzt an der Seilrolle an. Ihre Zugkraft bewirkt ein selbsttätiges Aufspulen des Nylondrahtes bei Umfangsverringerung und hält so die Spannung des Nylondrahtes auf dem gleichen Niveau. Die Elastizität der Feder verdeutlicht folgende Tabelle:

Bei Zugkraft bis 200 g noch keine Längenänderung.

Gewicht	Längenänderung	
200 g	0	cm
250 g	1	cm
300 g	3	cm
350 g	7	cm
375 g	9-9,5	cm
425 g	13	cm
450 g	14-14,5	cm
475 g	14,5	cm

4. Ringpotentiometer

Das Potentiometer überträgt die Längenänderung ins elektrische System. Sein Bauprinzip ist die lineare Umsetzung von Winkeländerungen in Änderungen des elektrischen Widerstandes zwischen Schleifen und Wicklungsenden. Endlose Umdrehungen sind möglich, wobei nach jeweils einer Umdre-

hung der Widerstand zu seinem Ausgangswert zurückkehrt. Auf der Achse des Ringpotentiometers befindet sich senkrecht und in fester Verbindung mit der Achse die kreisrunde Seilrolle. Eine Drehung der Seilrolle bewirkt eine Drehung der Achse und damit eine Änderung des abgegriffenen Widerstandes.

Verwendetes Potentiometer: Precision Potentiometer der Fa. Beckman Instrument. Tsp 10 K Ω

5. Kabel

Die Kapsel hat zwei Öffnungen, eine zur Ableitung der elektrischen Kabel, die zweite für den Eintritt des Nylondrahtes. Durch die erste Öffnung wird bei Verwendung im Wasser Luft über einen Schlauch, in dem auch die Kabel laufen, mit einer Aquariumpumpe eingepresst. Die Luft kann nur durch die zweite Öffnung entweichen; dadurch wird das Eindringen von Wasser in die Kapsel verhindert. (Von K. Dirnagl).

b) Befestigung der Apparaturen am Körper

1. Gurte (Gummiband)

Als Gummiband hat sich Paragummi am besten bewährt. Das Gummiband läßt sich ohne große Widerstandszunahme auf über das Doppelte seiner Ausgangslänge dehnen. Die Breite des Bandes ist 3,5 cm, die Dicke 2 mm. Die Überlänge des Bandes wird auf der Hautseite zwischen die beiden hinteren Platten gesteckt, wo sie nicht als störend empfunden wird. Die Umschlagstelle darf nicht zu weit hervorgezogen werden, denn sonst besteht die Gefahr, daß das Gummiband von der Rolle erfaßt und eingeklemmt wird. Das Gummiband dient hauptsächlich zur Erleichterung des Anlegens der Platten in gerader Linie.

2. Halteband

Durch die Zugspannung des umlaufenden Drahtes werden die Kapseln teilweise festgehalten, doch ist eine zusätzliche

Befestigung wünschenswert, um das Anlegen der Apparatur in gleicher Höhe zu erleichtern und das Abrutschen der Kapseln zu verhindern (besonders im Stehen, im Liegen nicht mehr nötig). Zur Aufhängung werden ein gelochtes Gummiband, das man sonst zur Befestigung von EKG - Elektroden benutzt, und entsprechende Knöpfe verwendet. Das eine Ende des Haltebandes wird um den Hals der VP geschlungen und vor der Brust mit dem herabhängenden Teil verbunden. Die Befestigung der Kapseln erfolgt am herabhängenden Teil (je ein Knopf).

c) Platten und Rollen (Abb. 3 u. 4, S. 13)

Die zweiteiligen Platten sind aus Messing hergestellt. Der untere Teil (a) ist 4 cm lang, 2 cm breit und ca. 0,3 mm dick. An beiden Breitseiten der Platten befindet sich je eine Schraube. Teil (b) ist 4 cm lang, 0,8 cm breit und ca. 0,3 mm dick. Die eine Breitseite der Platte (b) ist mit Teil (a) durch eine der vorher erwähnten Schrauben verbunden. Die andere Seite der Platte (b) weist eine hufeisenförmige Öffnung auf, durch die auch diese Seite der Platte mittels der zweiten Schraube auf Teil (a) befestigt werden kann. Bei Lockern dieser Schraube ist eine kreisförmige Bewegung der Platte (b) um das Zentrum der anderen Schraube möglich. Dadurch wird die lösbare Befestigung des zwischen den Platten (a) und (b) verlaufenden Gummibandes ermöglicht.

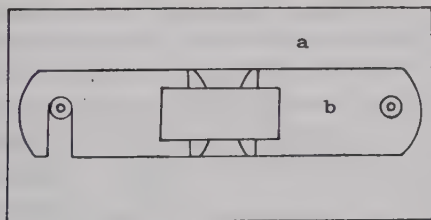
Auf die Platten (b) sind noch Lagerwinkel für die aus Plexiglas bestehenden Rollen gelötet. Über diese Rollen wird der umlaufende Nylondraht geleitet. An der Stelle, an der der Draht aus der Kapsel austritt, bringt man ebenfalls eine Rolle an. Dann läuft der Draht überall über Rollen, und die Gleitreibung ist damit ausgeschaltet.

In die Plexiglasrolle ist eine V2A - Kanüle als Achsbuchse fest eingepreßt; eine dünnere wird durch diese geschoben und als Achse in dem Rahmen befestigt. Die dickere Kanüle verhindert einerseits das seitliche Gleiten

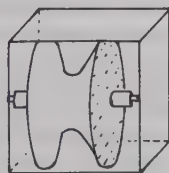
der damit fest verbundenen Plexiglasrolle, da sie beiderseits fast bis zum Rahmen reicht, andererseits verringert die Kanüle die Reibung bei der Drehung der Rolle. Die Plexiglasrolle soll auf der Seite, auf der der Draht läuft, fast bis zum Messingrahmen reichen, um bei einer eventuellen Lockerung des Nyldrahtes sein Abspringen von der Rolle zu verhindern.

Die auf der Haut aufliegende Platte (a) wird mit einem Kleber, z.B. Metallogum bestrichen. Der trockene Klebstoff bewirkt, von der Hautwärme begünstigt, ein leichtes Festhaften des Metalls, was durch den Druck des Gummibandes noch verstärkt wird. Die so befestigten Platten haben- auf der Haut angelegt- kaum noch Kipptendenz.

Die Platten sollen möglichst symmetrisch auf beide Körperhälften verteilt werden, da bei asymmetrischem Anlegen der Platten der Zug der Haut auf beide Körperseiten möglicherweise verschieden ist. Das Gummiband mit den daran befindlichen Platten wird eng um den Körper gelegt, was durch eine am Draht angesetzte Zugkraft von ca 150 g erreicht wird. Bei zu geringem Ausgangszug würden durch die Zunahme des Körperumfangs zuerst die Platten auf die Haut gedrückt, was die Meßgenauigkeit der Umfangsänderung beeinträchtigen würde.



Platten



Rollen

(Abb. 3)

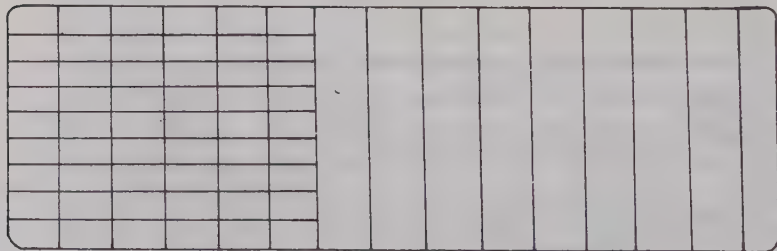
(Abb. 4)

d) Liege

Die für unseren Versuch verwendete Liege (Abb.5) ist so konstruiert, daß sich das Gesäß immer am Knickwinkel der Liege befindet. Es handelt sich hierbei um eine umgebaute Kurzliege, die mit Kunststoffschnur quer bespannt ist. Zur Festigung der Unterlage des Oberteils wurde noch eine Längsbespannung angebracht (8 Längsschnüre). Zwei Bügel, die quer über dem Ober- und Mittelteil der Liege montiert sind, erleichtern das Hinlegen und verhindern ein Anstoßen des Kopfes.

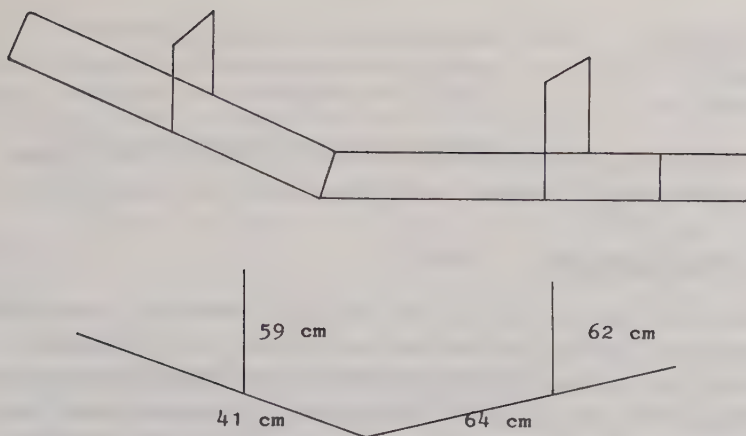
Unabhängig von der Größe der Versuchsperson liegt der Oberkörper gestreckt auf dem oberen geraden Teil, die Beine ruhen auf der unteren Partie. Die Liege wird so aufgehängt, daß die Zehen sich in Höhe der fossa jugularis befinden. Die VP soll in die Mitte zu liegen kommen, da bei einseitiger Belastung die Liege kippen könnte, was auf die Drehbarkeit der Liege am Aufhängepunkt der Bügel zurückzuführen ist.

Der Winkel zwischen Ober- und Mittelteil ist festgestellt (39° - 42° bzw. 138° - 141°), kann aber geringfügig variiert werden (Abb.6). Ein Stahlrohr, das am Knick eingefügt ist, erhöht die Stabilität der Liege. Eine Schaumstoffauflage bewirkt, daß die Bespannung in Höhe des Gesäßes etwas nachgibt.



(Abb.5)

Die Breite der Liege beträgt ca 60 cm, die Länge des Ober- teils 87 cm, die des Mittelteils 74 cm, die des Unterteils 36 cm.

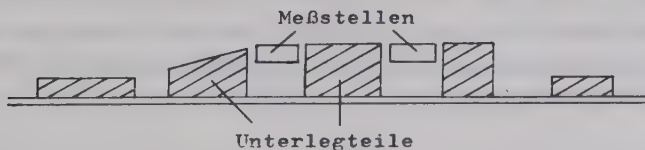


(Abb. 6)

Einsenken in das und Herausheben aus dem Wasser erfolgt mittels einer hydraulischen Hebevorrichtung.

Unterlage

Als Unterlage wird Schaumstoff verschiedener Härte benutzt (blau = weich, weiß = hart). Die Schaumstoffteile sind mit Neotex^R auf eine feste Linoleumunterlage geklebt. Um den Auftrieb klein zu halten, wurde Schaumstoff mit offenen Poren gewählt, da dieser sich mit Wasser vollsaugt. Auf die Unterlage bringt man drei weitere Unterlegteile (Abb. 7), einmal unterhalb der unteren Meßstelle und je einmal ober- und unterhalb der oberen Meßstelle. Durch diese Vorrichtung sollen die Meßstellen geschont werden, während sich die VP in Liegestellung befindet.



(Abb. 7)

Kopfkissen: Ein Gummikopfkissen wird mit Sand beschwert, damit ein schnelleres Einsinken ins Wasser möglich ist.

Fußstützen: Fußstützen sind nötig, da die Liege beim Eintauchen ins Wasser nicht ganz waagrecht hängen kann.

e) Aquariumpumpe

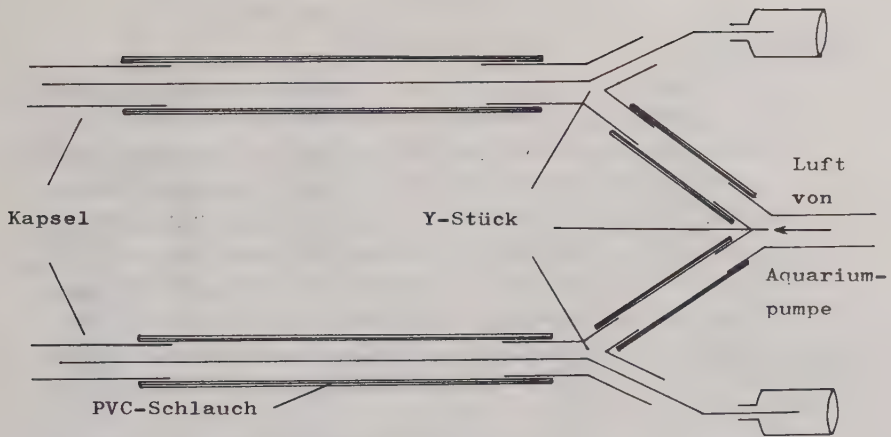
Um in den Kapseln einen Überdruck herzustellen, benötigt man eine Pumpe. Zur Prüfung der Frage, ob der Pumpendruck ausreicht, um das Eindringen von Wasser zu verhindern, wird die Schlauchöffnung des Y - Stückes, aus dem die Kabel austreten, mit dem Finger zugehalten, die andere offengelassen, und die Kapseln verschieden tief ins Wasser getaucht. Der Pumpendruck ist ausreichend, wenn Luftblasen austreten.

f) Y - Stück (Abb. 8, S. 17)

Das Y - Stück besteht aus Plastik und ist an der Öffnung (b) der Kapsel angebracht. Aus dem einen Schlauchende treten die zum elektrischen System führenden Kabel aus, durch die andere Schlauchöffnung wird mit einer Aquariumpumpe Luft in die Kapsel gepreßt.

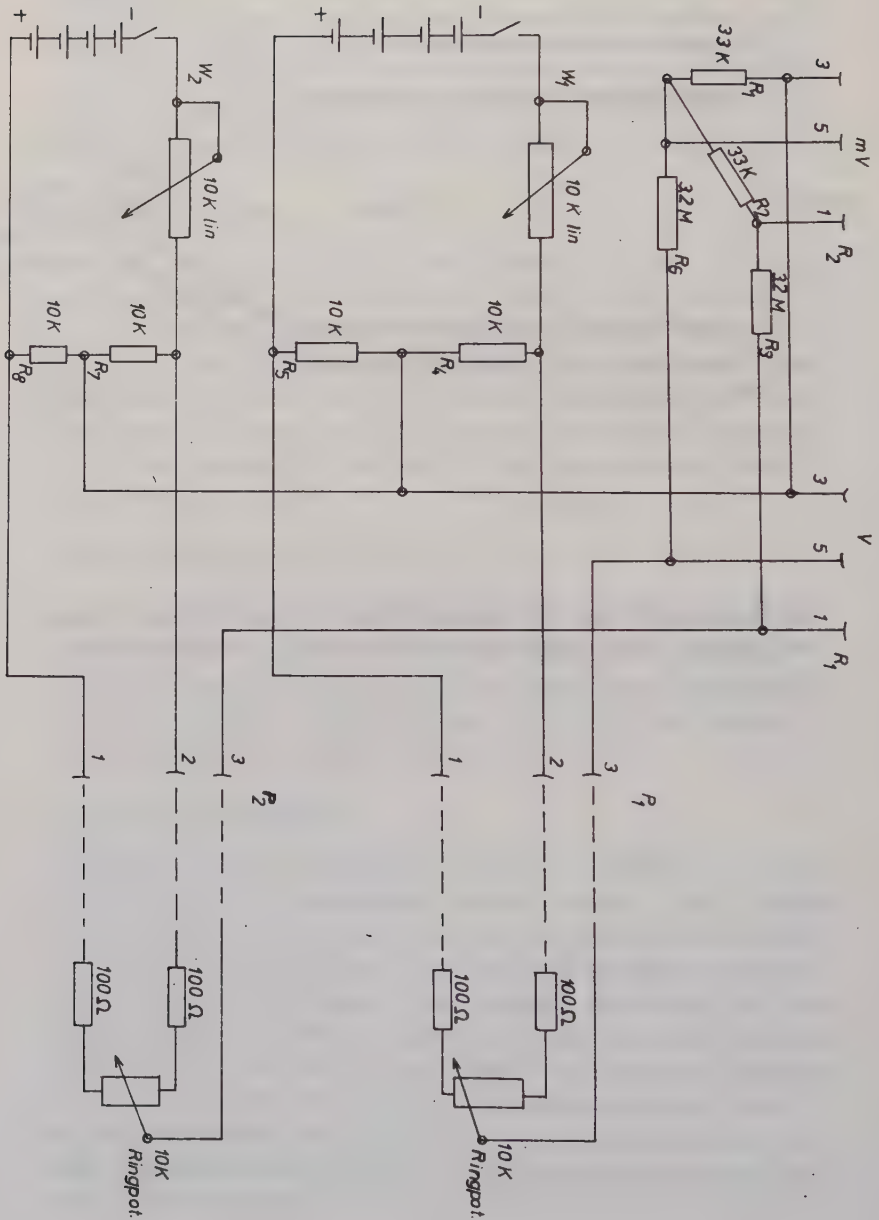
g) Elektrisches System

Die Übertragung der Längenänderung ins elektrische System erfolgt durch den Ringpotentiometer (siehe S.10). Dieses wird über ein Vorschaltgerät mit einem Schreiber verbunden. Die Schaltung (Abb. 9, S. 18) ist in einem Metallgehäuse montiert, die Widerstände werden numeriert. Auf der linken Seite des Gehäuses befindet sich ein aufklappbarer Deckel, unter dem eine Einstellskala der Regelwiderstände zu sehen ist. Das Vorschaltgerät (Spannungsgeber) ist eingerichtet für zwei Schreiber. Für den einen sind Potentialschwankungen von Volt, für den anderen von Millivolt erforderlich.



(Abb. 8)

Die beiden offenen Y- Enden werden mit dem Stecker durch Leukoplast, Folienkleber und Tesakrepp wasserdicht verbunden.



Schaltskizze des elektrischen Systems (Abb. 9)

Eichung und Linearitätskontrolle

Um eine Unregelmäßigkeit der Meßapparatur auszuschließen, wurde mit einem Röhrenvoltmeter die Potentialdifferenz abgegriffen. Dieser Röhrenvoltmeter wird entweder allein oder gleichzeitig mit dem Schreiber betätigt. Ziel dieser Maßnahme ist es, festzustellen, ob Übereinstimmung zwischen definierter Längenänderung des Drahtes beim Herausziehen aus der Kapsel oder Hineinlassen in die Kapsel, dem auf der Kurve ablesbaren Ausschlag des Schreibzeigers und der mit dem Voltmeter gemessenen Potentialdifferenz besteht.

Versuch mit dem Röhrenvoltmeter:

Die Kapsel wird erstens mit dem Vorschaltgerät verbunden, wobei die Vorspannung durch den Regelwiderstand bei Marke 70 der Skala gewählt wird. Zweitens stellt man eine Verbindung zwischen Kapsel und Röhrenvoltmeter her. Die Umpolung des Röhrenvoltmeters von V+ nach V- erfolgt mittels eines Schalters. Der Versuch soll zeigen, inwieweit die einzelnen Differenzwerte (Potentialdifferenz/ herauszogener Draht) voneinander abweichen. (Siehe Tabelle 1).

Um- schlag- punkte	Längen- änderung beim Her- ausziehen cm	Röh- ren- volt- meter Vcc	V	Diffe- renz <u>Volt</u> cm	Um- schlag- punkte	Längen- änderung beim Hin- einlassen cm	Röh- ren- volt- meter Vcc	V	Diffe- renz <u>Volt</u> cm
	0	6,2	+			0	6	+	
	1	18,1	+	11,9		1	18	+	12
	2	31,5	+	13,4		2	31	+	13
x	3	33,9	-		x	3	34,8	-	
	4	21,5	-	12,4		4	21,8	-	13
	5	9	-	12,5		5	9	-	12,8
x	6	4	+		x	6	3,9	+	
	7	16	+	12		7	16	+	12,1
	8	28,9	+	12,9		8	29	+	13
x	9	37	-		x	9	37	-	
	10	24,4	-	12,6		10	24	-	13
	11	11,9	-	12,5		11	11,8	-	12,2
x	12	1	+		x	12	1,2	+	
	13	13	+	12		13	14	+	12,8
	14	26	+	13		14	26,5	+	12,5
	15	39	+	13		15	39	+	12,5
x	16	26	-		x	16	26	-	
	17	14	-	12		17	14	-	12

(Tab. 1)

Tabelle (1) zeigt, daß die Meßapparatur mit zufriedenstel-
lender Genauigkeit arbeitet.

II. Versuchsablauf

1. Vorbereitung

Ca. 3/4 Stunden vor Erscheinen der VP wird der Schreiber, der außerhalb der Sicht der VP stehen soll, vorbereitet. 15 Minuten später wird die Raumheizung eingeschaltet, wobei die Raumtemperatur je nach VP 28°- 31°C betragen kann. Die Geräte werden bereitgestellt. Ca. 15 Minuten vor Eintreffen der VP Einlassen des Wassers in die Wanne. Die Wassertemperatur soll ca. 35°C betragen. Eichung ca. 5 Minuten vor Versuchsbeginn, wobei der Nylondraht einmal ganz aus der Kapsel gezogen wird. Die Nullage wird so eingestellt, daß die Kurve symmetrisch innerhalb des Schreibbereichs des Zeigers liegt. Nach der Eichung dürfen Vorspannung, Nullage und Empfindlichkeit nicht mehr verändert werden.

2. Versuchspersonen

Die Versuchspersonen müssen gesund sein (besonders Pleura und Lunge), was durch Auskultation vor dem ersten Versuch festgestellt wird. Außerdem müssen sie nüchtern sein und dürfen keinen Schnupfen haben.

3. Versuch

Zunächst werden Bauch- und Brustumfang der VP im Stehen beim Ein- und Ausatmen gemessen, daraus wird der Mittelwert gebildet. Die Meßgeräte werden angelegt, ihre Lage darf während des ganzen Versuches nicht mehr geändert werden. Nach Festschnallen der VP mit zwei Schultergurten und einem Beingurt auf der Liege wird diese mit einem Kran hochgehoben und ins Wasser gesenkt.

Die Kopfhaltung der VP ist ungewinkelt, so daß der Mund und das Kinn an der Wasseroberfläche liegt. Während des Versuchs soll die VP nicht reden und sich möglichst wenig bewegen.

Meßplan:

Der Versuch wurde 10 Minuten an der Luft, 10 Minuten im Wasser und dann wieder 10 Minuten an der Luft durchgeführt.

Jedes dieser 10-Minuten-Intervalle ist folgendermaßen gegliedert:

Ruheatmung ca 4 Minuten, Maximalatmung ca 3 Minuten, Ruheatmung ca 3 Minuten.

Pro Versuchsperson wurden 4-5 Versuche gemacht.

Zur Beachtung:

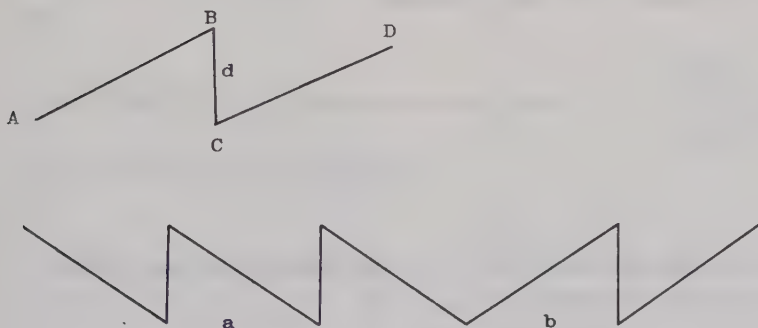
Da der Nylondraht nicht direkt auf der Haut liegt, sondern über Rollen läuft, wird ein größerer Umfang gemessen

III. Eichung

Um zu brauchbaren Ergebnissen zu kommen, war vor und nach jedem Versuch eine Eichung erforderlich, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

Infolge der Bauart des Ringpotentiometers erfolgt bei einem Drehwinkel von 357° ein Umschlagen des Schreibzeigers. Die Kurve fällt von diesem Wert bis zu einem Drehwinkel von 360° ab. Eine Umdrehung der Spule = Umfang der Spule; damit setzt sich die genaue Länge des herausgezogenen Umlaufdrahtes zusammen aus:

1. $0^{\circ} - 357^{\circ}$ = Länge des herausgezogenen Drahtes bei steigender Kurve von 0° bis zum Umschlagpunkt (AB).
2. $357^{\circ} - 360^{\circ}$ (bzw. 0°) = Länge des herausgezogenen Drahtes bei fallender Kurve (BC).



(Abb. 10)

Kurve des Schreibzeigers a) beim Hineinlassen und b) beim Herausziehen des Drahtes.

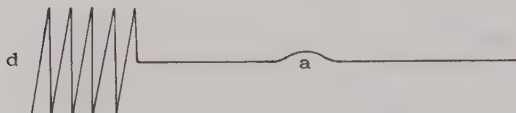
Der Abstand der oberen und unteren Umschlagpunkte auf der Registrierkurve soll möglichst groß gewählt werden, um

hohe Amplituden der Kurven bei Umfangsänderungen der VP (z.B. bei der Atmung) zu erreichen. Der Abstand ist abhängig von der gewählten Speisespannung im Vorschaltgerät und der Empfindlichkeit des Schreibers. Dabei muß darauf geachtet werden, daß der gewählte Abstand innerhalb der am Schreiber ablesbaren Grenzen der linearen Schreibung des Zeigers bleibt. Die Nullage ist durch einen Knopf verstellbar.

Bei langsamem Übergang von A nach C ergibt sich bei Punkt C infolge der großen Übergangsgeschwindigkeit von B nach C eine überschießende Bewegung. Daraus folgt eine Verlängerung des Abstandes $BC = d$.

Da aber bei schnellem Übergang von A nach C keine überschießende Bewegung stattfindet, und damit auch keine Verlängerung von $BC = d$, wählt man für die Eichung in jedem Fall den Abstand $d = BC$ bzw. den Mittelwert aus der Eichung vor und nach dem Versuch.

Der Abstand $d = BC$ entspricht einer Umdrehung der Rolle in der Kapsel = 60 mm Nylondraht.



Ermittlung der Amplitude a in der Kurve, die das Verhalten der VP beschreibt:

d 60 mm Nylondraht

$$a \quad x \quad x = \frac{60}{d} \cdot a$$

Daraus folgt: Faktor, mit dem die jeweiligen Amplituden der Kurven multipliziert werden:

$$F = \frac{60}{d}$$

Versuch zur Eichung

a	1,6	1,1	2,8	1,6	1,6	1,6	2,7	4,9
d	12	7	20,3	12	12	11,5	20	34
$\frac{a}{d}$	0,133	0,159	0,157	0,133	0,133	0,139	0,135	0,144

a = Amplitude (in mm) der Kurve bei 1 cm Drahtlängenänderung.

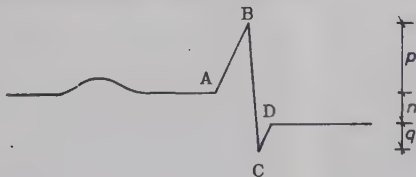
d = Abstand (in mm) der Umschlagpunkte bei jeweils gleicher Vorspannung.

Voraussetzung für die Genauigkeit der Eichung ist, daß bei gleicher Vorspannung der Quotient $\frac{a}{d}$ konstant ist. Dieser ist abhängig vom elektrischen System und der mechanischen Übertragung in der Kapsel.

Die Versuchsergebnisse zeigen eine ausreichende Genauigkeit.

Auswertung der Kurve

1. Bestimmung der Amplitude AB



Der Abstand n wird von $BC = d$ subtrahiert bzw. die Abstände p und q werden addiert. Bei größeren Amplituden kann die Umfangsänderung der VP während der Zeigerwanderung von C nach D vernachlässigt werden, da diese Änderung bei einem Drehwinkel von 3° nur 0,5 mm beträgt.

360° 60 mm Nylondraht

3° x

$$x = \frac{60 \cdot 3}{360} = 0,5 \text{ mm}$$

Bei kleiner Amplitude dagegen (z.B. Ruheatmung) wird dieser Wert berücksichtigt.

2. Vergleich zweier Kurvenstellen

Von zwei zeitlich weiter auseinanderliegenden Kurvenstellen, z.B. expiratorische Ruhelage an der Luft bzw. im Wasser, wird der Abstand jeder Stelle von der durch den mechanischen Markengeber am Rand markierten Linie gemessen und die Differenz der Abstände bestimmt.

E. Ergebnisse

I. Umfangsänderungen

An zehn gesunden VP, fünf weiblichen und fünf männlichen, wurden insgesamt 48 Versuche im Liegen durchgeführt. Brust- und Bauchumfang wurden gleichzeitig fortlaufend gemessen, die im Bad erfolgten Änderungen wurden vom Schreiber registriert.

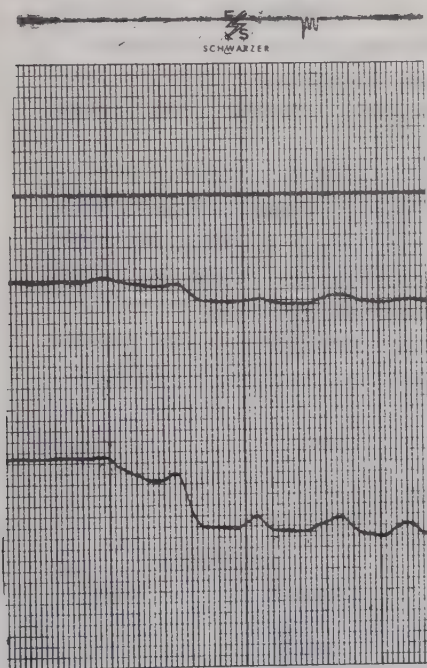


Abb. (11 a)
Abnahme des Brust- und
Bauchumfangs beim Ein-
tauchen

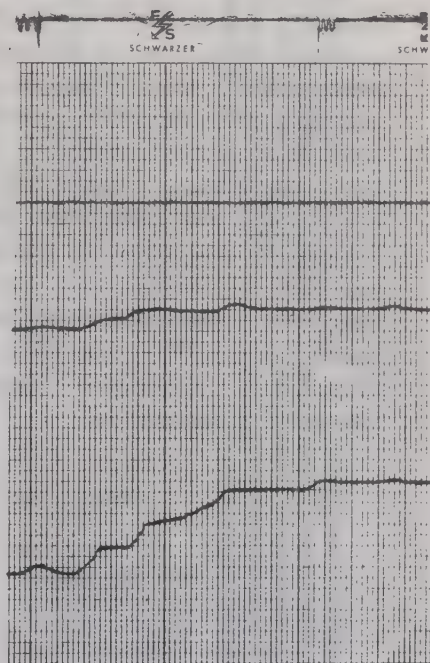


Abb. (11 b)
Zunahme des Brust- und
Bauchumfangs beim Aus-
tauchen

Abbildung (11) veranschaulicht die Umfangsänderung beim Ein- und Austauschen einer der VP. Abbildung (11 a) zeigt die Abnahme des Brust- und Bauchumfangs beim Eintauchen. In Abbildung (11 b) wird die Zunahme dieser Umfänge beim Austauschen nach 10 Minuten veranschaulicht. Es zeigt sich, daß beim Ein- und Austauschmanöver die Änderung des Bauchumfangs größer ist als die des Brustumfangs. Der schnellste Abfall bzw. Anstieg ist beim Ein- und Austauschen zu beobachten. Die weiteren Umfangsänderungen während des Bades und nach dem Austauschen kommen dagegen langsamer zustande.

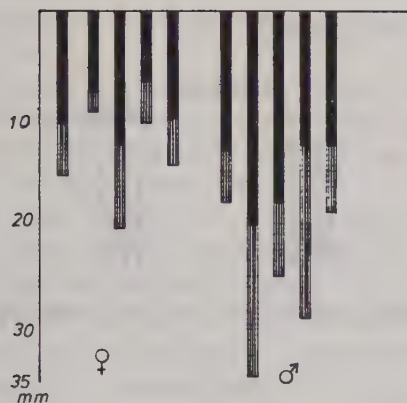
Die Abbildungen (12 a und 12 b) zeigen die Abnahme des Brust- und Bauchumfangs jeder der zehn VP, links jeweils für die fünf weiblichen, rechts für die fünf männlichen beim Eintauchen, wobei die schwarze Säule jeweils die Umfangsabnahme unmittelbar nach dem Eintauchen, die schraffierte Säule die Differenz nach jeweils zehn Minuten Bad zeigt.

In den Abbildungen (12 c und 12 d) ist in gleicher Weise die Zunahme des Brust- und Bauchumfangs aufgetragen. Hier bezeichnet die schwarze Säule die Umfangszunahme unmittelbar nach dem Austauschen, die schraffierte Säule die Differenz nach zehnminütigem Aufenthalt an der Luft.

Die Tabelle (2) verdeutlicht noch einmal die schon in Abbildung (12) sichtbaren individuellen und geschlechtsgebundenen Unterschiede.

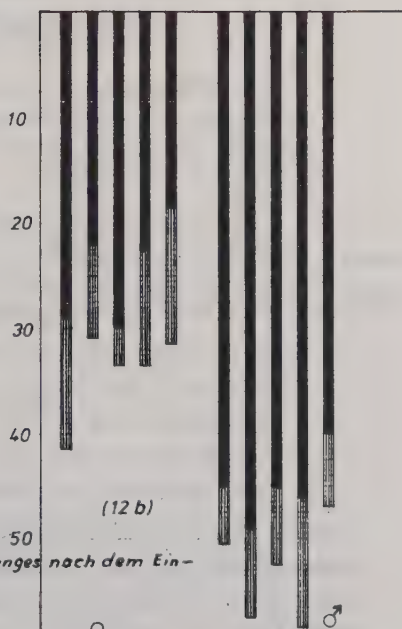
Umfangsabnahme (in mm)

	<u>weiblich</u>		<u>männlich</u>	
	Brust	Bauch	Brust	Bauch
	15,6	41,4	18,3	50,6
	9,8	31,0	34,8	57,7
	20,3	33,6	25,1	52,5
	10,6	33,8	29,2	58,7
	<u>14,8</u>	<u>31,8</u>	<u>19,2</u>	<u>47,0</u>
Summe:	71,1	171,6	126,6	266,5
Durchschnitt:	$71,1:5=14,22$ $171,6:5=34,32$ $126,6:5=25,32$ $266,5:5=53,3$			

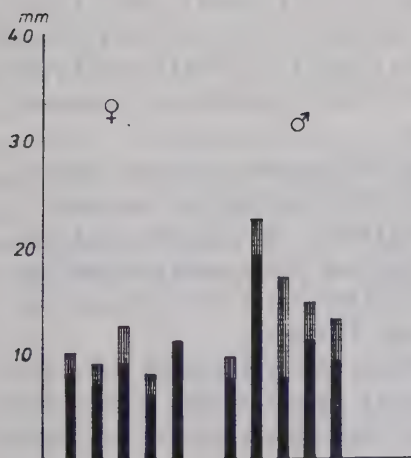


(12 a)

Abnahme des Brust- und Bauchumfanges nach dem Eintauchen.

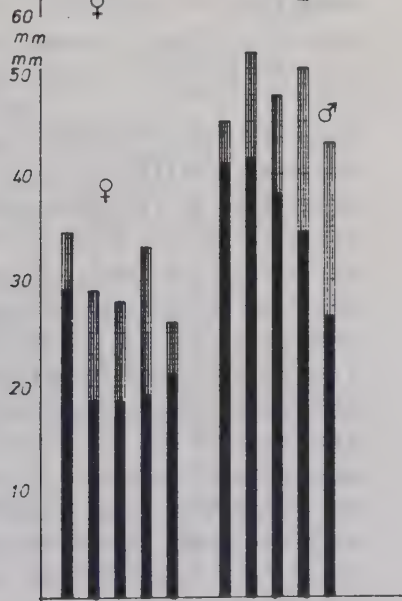


(12 b)



(12 c)

Zunahme des Brust- und Bauchumfanges nach dem Austauchen.



(12 d)

Umfangszunahme (in mm)

<u>weiblich</u>		<u>männlich</u>	
Brust	Bauch	Brust	Bauch
10,2	34,0	9,3	45,0
8,8	28,8	22,4	47,1
12,5	27,6	16,8	51,4
7,9	33,1	14,6	49,6
<u>11,1</u>	<u>25,9</u>	<u>13,1</u>	<u>42,6</u>
Summe:	50,5	86,2	235,7
Durchschnitt:	50,5:5=10,1	86,2:5=17,24	235,7:5=47,14

(Tab. 2 b)

Daraus ergeben sich folgende Werte: Die Abnahme des Brustumfangs bei den weiblichen VP liegt zwischen 0,98 cm und 2,03 cm mit einem Durchschnittswert von 1,42 cm, bei den männlichen VP zwischen 1,83 cm und 3,48 cm mit einem Mittel von 2,53 cm. Bezogen auf sämtliche VP ergibt sich daraus eine mittlere Abnahme des Brustumfangs von 2 cm.

Bei der Abnahme des Bauchumfangs der weiblichen VP findet sich ein Mittelwert von 3,43 cm mit individueller Streuung von 3,1 cm bis 4,14 cm, bei den männlichen VP ein Durchschnitt von 5,33 cm mit Werten zwischen 4,7 cm und 5,87 cm. Der Durchschnittswert, bezogen auf alle VP, beträgt 4,4 cm.

Die Zunahme des Brustumfangs 10 Minuten nach dem Austauschen liegt bei den weiblichen VP zwischen 0,79 cm und 1,25 cm mit einem Durchschnittswert von 1,01 cm, bei den männlichen VP zwischen 0,93 cm und 2,24 cm mit einem Mittel von 1,72 cm. Der Durchschnittswert für weibliche und männliche VP insgesamt beträgt 1,3 cm.

Bei der Zunahme des Bauchumfangs der weiblichen VP ergibt sich ein Mittel von 2,98 cm mit individuellen Werten zwischen 2,59 cm und 3,4 cm, bei den männlichen VP ein Durch-

schnittswert von 4,71 cm mit individueller Streuung von 4,26 cm bis 5,14 cm. Das Mittel für alle VP liegt bei 3,9 cm.

Die Tabelle zeigt deutlich, daß die Änderung des Brust- und Bauchumfangs, sowohl was Abnahme als auch Zunahme betrifft, bei den weiblichen VP wesentlich geringer ist als bei den männlichen VP.

Bei jeder einzelnen VP ist eine geringere Abnahme des Brustumfangs als des Bauchumfangs zu beobachten, während für die Zunahme der Umfänge 10 Minuten nach dem Austauschen das umgekehrte Verhältnis zutrifft.

Es zeigt sich weiterhin, daß das Eintauchmanöver, besonders bei den männlichen VP, im Verhältnis zur Gesamtabnahme mehr auf den Bauchumfang wirkt. Beim Brustumfang dagegen ist im Verlauf des Bades eine prozentual größere Abnahme zu beobachten, was sich wiederum besonders auf die männlichen VP bezieht. Das Austauschmanöver bewirkt im Verhältnis zu der 10 Minuten nach Beendigung des Bades erreichten Gesamtzunahme bei den weiblichen VP eine stärkere Zunahme des Brustumfangs, bei den männlichen VP des Bauchumfangs.

Die Umfangsabnahmen nach einem Bad von 10 Minuten Dauer sind in allen Fällen größer als die bis 10 Minuten nach Beendigung des Bades registrierten Umfangszunahmen. Es ergibt sich also eine negative Bilanz, die, wie sich zeigte, vom ursprünglichen Brust- und Bauchumfang abhängig ist: je größer diese Umfänge, desto größer auch die negative Bilanz.

An je einer weiblichen und einer männlichen VP wurden die beschriebenen Versuche auch im Stehen durchgeführt. Es zeigte sich bei beiden VP, daß beim Eintauchen der Bauchumfang stärker abnahm als bei dem im Liegen durchgeführten Versuch. Der Brustumfang dagegen änderte sich nur wenig.

II. Änderung der Atemgrößen

1. Maximale Amplitude

Im Rahmen des oben beschriebenen Versuches wurden bei den selben 10 VP die sich beim tiefen Ein- und Ausatmen ergebenden maximalen Amplituden im Brust- und Bauchbereich gemessen. Die VP wurden aufgefordert, innerhalb 10 Minuten vor dem Bad, während des zehnminütigen Bades und innerhalb 10 Minuten nach Beendigung des Bades je viermal tief ein- und wieder auszuatmen.

a) Änderung der maximalen Amplitude im Brustbereich

(Tabelle 3)

Es zeigte sich bei zwei der fünf weiblichen VP eine Zunahme der maximalen Amplitude im Wasser und eine Abnahme nach dem Bad. Bei den drei anderen weiblichen VP ließ sich eine Abnahme der maximalen Amplitude während des Bades feststellen. Bei zwei von ihnen stieg die maximale Amplitude nach dem Bad wieder an, während sie bei einer ungefähr gleichblieb.

Der gleiche Versuch führte bei vier der fünf männlichen VP während des Bades zu einer Zunahme der maximalen Amplitude im Brustbereich. Bei drei von ihnen ließ sich während der Zehn- Minuten- Spanne nach dem Bad wieder eine Abnahme der Amplitude feststellen, bei einem dagegen stieg sie weiter an. Eine der männlichen VP zeigte im Wasser eine Abnahme der maximalen Amplitude und nach dem Bad entsprechend eine Zunahme.

Tabelle (3 a) zeigt, daß bei den einzelnen VP beträchtliche individuelle Unterschiede bezüglich der maximalen Amplitude auftreten. Die Durchschnittswerte der männlichen VP liegen jedoch in allen drei Phasen der Messung deutlich über denen der weiblichen VP.

Bei den weiblichen VP zeigt die maximale Amplitude im Wasser gegenüber dem vor dem Bad ermittelten Wert im Durchschnitt keine Änderung. Während der 10 Minuten nach

dem Bad ist ein leichter Anstieg festzustellen.

Bei den männlichen VP ist im Durchschnitt ein deutlicher Anstieg der maximalen Amplitude im Wasser gegenüber den in Luft gefundenen Werten festzustellen. Bis 10 Minuten nach Beendigung des Bades wird wieder ein leichtes Absinken registriert, wobei dieses Ergebnis immer noch etwas über dem Ausgangswert liegt.

Das Verhalten der maximalen Amplitude der weiblichen VP im Brustbereich (Luft I = vor dem Bad, Luft II = nach dem Bad). (In mm)

	<u>Luft I</u>	<u>Wasser</u>	<u>Luft II</u>
	26,8	30,8	27,3
	44,3	39,9	46,8
	30,3	37,8	34,4
	25,3	21,5	27,3
	<u>42,9</u>	<u>39,3</u>	<u>39,4</u>
Summe:	169,6	169,3	175,2
Durchschnitt:	169,6:5=33,9	169,3:5=33,9	175,2:5=35,0

Das Verhalten der maximalen Amplitude der männlichen VP im Brustbereich (Luft I = vor dem Bad, Luft II = nach dem Bad). (In mm)

	<u>Luft I</u>	<u>Wasser</u>	<u>Luft II</u>
	39,0	34,4	39,1
	33,0	45,5	40,6
	46,3	54,0	43,1
	52,1	59,6	57,4
	<u>69,0</u>	<u>70,3</u>	<u>73,6</u>
Summe:	239,4	263,8	253,8
Durchschnitt:	239,4:5=47,9	263,8:5=52,8	253,8:5=50,8

Das Verhalten der maximalen Amplitude der weiblichen VP im Bauchbereich (Luft I = vor dem Bad, Luft II = nach dem Bad). (In mm)

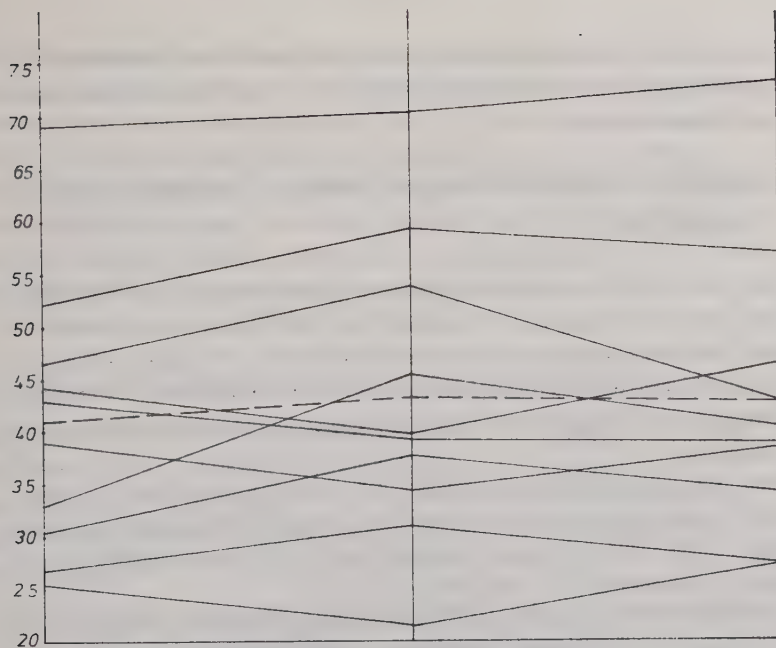
	<u>Luft I</u>	<u>Wasser</u>	<u>Luft II</u>
	18,3	23,3	15,5
	7,4	14,1	9,4
	23,8	20,0	19,8
	20,9	21,8	15,8
	<u>13,4</u>	<u>6,5</u>	<u>11,2</u>
Summe:	83,8	85,8	71,7
Durchschnitt:	$83,8:5=16,76$	$85,8:5=17,16$	$71,7:5=14,34$

Das Verhalten der maximalen Amplitude der männlichen VP im Bauchbereich (Luft I = vor dem Bad, Luft II = nach dem Bad). (In mm)

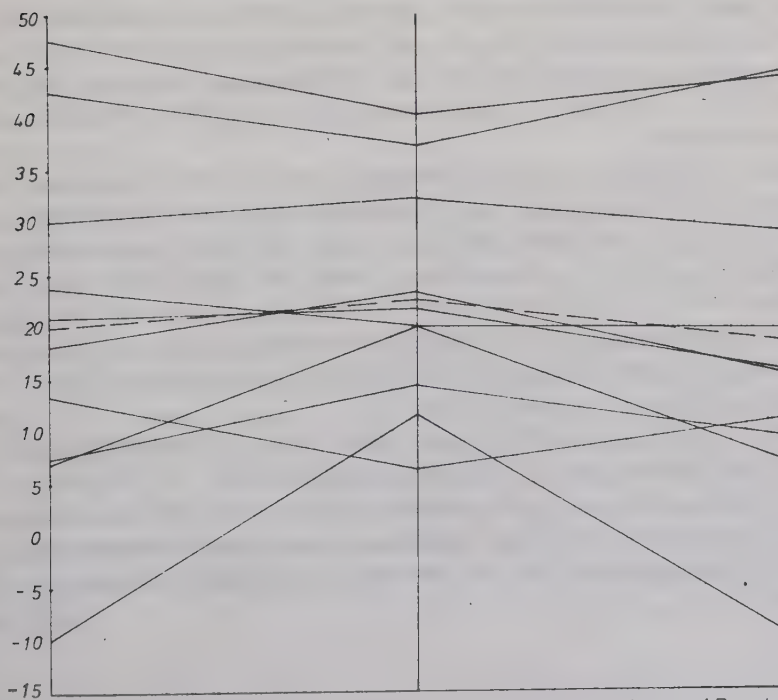
	<u>Luft I</u>	<u>Wasser</u>	<u>Luft II</u>
	47,3	40,4	44,1
	7,0	20,0	7,0
	42,6	37,3	44,4
	30,1	32,3	29,2
	<u>-9,8</u>	<u>11,7</u>	<u>-9,2</u>
Summe:	117,2	141,7	115,5
Durchschnitt:	$117,2:5=23,44$	$141,7:5=28,34$	$115,5:5=23,1$

(Tab. 3 b)

Kurve (1 a) zeigt die aus den Werten aller 10 VP ermittelte durchschnittliche Änderung der maximalen Amplitude im Brustbereich. Es ergibt sich nur ein geringfügiger Anstieg der maximalen Amplitude im Wasser gegenüber dem vor dem



(a) Durchschnittswerte der maximalen Amplituden im Liegen (Brust)



(b) Durchschnittswerte der maximalen Amplituden im Liegen (Bauch)

Bad in Luft gefundenen Wert und ein leichtes Absinken nach dem Bad, wobei dieser Endwert etwas höher liegt als der Ausgangswert.

b) Änderung der maximalen Amplitude im Bauchbereich (Tabelle 3 b)

Bei drei weiblichen VP zeigte sich im Wasser ein Ansteigen, nach dem Bad ein Absinken der maximalen Amplitude. Bei den zwei anderen weiblichen VP war im Wasser eine Abnahme, nach dem Bad in einem Fall eine Zunahme, im anderen Fall ein Gleichbleiben der maximalen Amplitude zu beobachten.

Drei der männlichen VP zeigten im Bad eine größere maximale Amplitude gegenüber den vor dem Bad ermittelten Werten, nach dem Bad eine Abnahme. Bei den beiden anderen männlichen VP traf das Umgekehrte zu.

Tabelle (3 b) zeigt trotz großer individueller Unterschiede in allen drei Meßphasen bei den männlichen VP größere Durchschnittswerte der maximalen Amplitude als bei den weiblichen VP. Bei den weiblichen VP findet sich im Wasser durchschnittlich ein geringfügiger Anstieg der maximalen Amplitude, nach dem Bad ein Absinken unter den Ausgangswert.

Die männlichen VP zeigen gegenüber den vor dem Bad gefundenen Werten im Wasser durchschnittlich einen deutlichen Anstieg der maximalen Amplitude, nach dem Bad in etwa ein Absinken auf den Ausgangswert. Dabei ist allerdings die ungewöhnliche Reaktion einer der fünf männlichen VP zu berücksichtigen. Bei ihm ergab sich nämlich für die maximale Amplitude während der 10 Minuten vor und nach dem Bad jeweils ein negativer Wert.

Kurve (1 b) zeigt analog zur Kurve (1 a) die durchschnittliche Änderung der maximalen Amplitude aller VP im Bauchbereich. Es ergibt sich ein leichter Anstieg der maximalen Amplitude im Wasser gegenüber dem in Luft ermittelten Wert und nach dem Bad ein Absinken etwas unter den Ausgangswert.

Ein Vergleich der beiden Kurven (1 a und b) bzw. Tabellen zeigt, daß der Durchschnittswert der maximalen Amplituden aller zehn VP im Brustbereich etwa um das Doppelte höher liegt als im Bauchbereich. Die Änderungen der maximalen Amplitude im Wasser und nach dem Bad sind in beiden Bereichen geringfügig und in etwa gleich, wobei allerdings der Endwert der maximalen Amplitude im Brustbereich über, im Bauchbereich unter dem Ausgangswert liegt.

2. Expiratorisches und inspiratorisches Reservevolumen.

Das expiratorische Reservevolumen ist dasjenige Volumen, das nach einer normalen Ausatmung zusätzlich ausgeatmet werden kann. Als inspiratorisches Reservevolumen bezeichnet man dasjenige Volumen, das nach einer normalen Einatmung noch zusätzlich aufgenommen werden kann.

a) Das Verhalten des expiratorischen und inspiratorischen Reservevolumens im Brustbereich.

Das expiratorische Reservevolumen zeigte bei vier der fünf weiblichen VP im Wasser eine deutliche Abnahme, bei einer VP geringfügige Zunahme. Das inspiratorische Reservevolumen nahm hier bei drei weiblichen VP leicht zu, bei zwei geringfügig ab.

Bei den anschließenden Messungen an der Luft ergab sich, daß das expiratorische Reservevolumen bei allen weiblichen VP angestiegen war. Das inspiratorische Reservevolumen war bei zwei weiblichen VP erhöht, bei drei von ihnen hatte es abgenommen.

Bei den fünf männlichen VP ergaben sich folgende Werte: in vier Fällen zeigte sich im Wasser eine Abnahme des expiratorischen Reservevolumens, bei einer VP eine Zunahme. Das inspiratorische Reservevolumen nahm hier bei allen zu.

Nach dem Bad nahm das expiratorische Reservevolumen bei vier VP deutlich zu, bei einer etwas ab. Beim inspiratorischen Reservevolumen zeigte sich in vier Fällen eine Abnahme, bei einer VP eine ganz geringfügige Zunahme.

Bezogen auf alle weiblichen VP ergab sich im Durchschnitt eine geringe Abnahme des expiratorischen Reservevolumens im Wasser und nach dem Bad ein kräftiger Anstieg noch über den Ausgangswert. Das inspiratorische Reservevolumen nahm während des Bades bei den gleichen VP im Durchschnitt etwas zu, nach dem Bad sank es unter den Ausgangswert ab.

Die männlichen VP zeigten im Durchschnitt eine Abnahme des expiratorischen Reservevolumens im Wasser, an der Luft dann wieder eine Zunahme über den Ausgangswert. Beim inspiratorischen Reservevolumen ergab sich während des Bades eine Zunahme, nach dem Bad eine Abnahme, wobei dieses Ergebnis über dem Ausgangswert lag.

Betrachtet man die Werte aller zehn VP insgesamt, so zeigt sich, daß im Wasser das expiratorische Reservevolumen im Durchschnitt um mehr als die Hälfte abnimmt und nach dem Bad ein über dem Ausgangswert liegendes Niveau erreicht.

Beim inspiratorischen Reservevolumen ist, bezogen auf alle VP, im Wasser im Durchschnitt eine mäßige Zunahme, nach dem Bad eine Abnahme zu verzeichnen, die geringfügig über dem Ausgangswert liegt.

b) Das Verhalten des expiratorischen und inspiratorischen Reservevolumens im Bauchbereich.

Bei den weiblichen VP zeigten sich folgende Ergebnisse: das expiratorische Reservevolumen nahm bei allen im Wasser unterschiedlich stark ab, nach dem Bad wieder zu. Beim inspiratorischen Reservevolumen ergab sich ausnahmslos eine Zunahme im Wasser und eine Abnahme an der Luft.

Ebenso einheitliche Ergebnisse waren bei den Männern zu verzeichnen. Das expiratorische Reservevolumen nahm bei allen während des Bades ab und nach dem Bad wieder zu. Beim inspiratorischen Reservevolumen zeigte sich im Wasser eine Zunahme, an der Luft eine Abnahme aller Werte.

Bezogen auf alle zehn VP ergab sich beim expiratorischen Reservevolumen im Wasser eine Abnahme, nach dem Bad eine Zunahme auf ein unter dem Ausgangswert liegendes Niveau.

Das inspiratorische Reservevolumen stieg im Durchschnitt während des Bades an und nahm nach dem Bad wieder bis knapp unter den Ausgangswert ab.

Das Verhalten des expiratorischen Reservevolumens der weiblichen VP im Brustbereich (Luft I = vor dem Bad, Luft II = nach dem Bad).

	<u>Luft I</u>	<u>Wasser</u>	<u>Luft II</u>
	1,65	0,95	1,25
	7,05	4,75	8,70
	0,40	-2,35	0,95
	-0,95	0,30	2,65
	<u>-0,18</u>	<u>-1,00</u>	<u>0,12</u>
Summe:	7,97	2,65	13,67
Durchschnitt:	7,97:5=1,59	2,65:5=0,53	13,67:5=2,73

Das Verhalten des inspiratorischen Reservevolumens der weiblichen VP im Brustbereich (Luft I = vor dem Bad, Luft II = nach dem Bad).

	<u>Luft I</u>	<u>Wasser</u>	<u>Luft II</u>
	12,25	12,10	13,35
	21,40	23,75	22,15
	22,85	20,30	20,80
	20,70	23,80	19,75
	<u>24,60</u>	<u>25,00</u>	<u>23,10</u>
Summe:	101,80	104,95	99,15
Durchschnitt:	101,80:5=20,36	104,95:5=20,99	99,15:5=19,83

(Tab. 4 a)

Das Verhalten des expiratorischen Reservevolumens der männlichen VP im Brustbereich (Luft I = vor dem Bad, Luft II = nach dem Bad).

	<u>Luft I</u>	<u>Wasser</u>	<u>Luft II</u>
	4,45	-0,80	4,30
	3,45	2,80	5,45
	5,00	3,15	5,60
	4,75	0,05	3,90
	<u>4,65</u>	<u>6,05</u>	<u>5,20</u>
Summe:	22,30	11,25	24,45
Durchschnitt:	$22,30:5=4,46$	$11,25:5=2,25$	$24,45:5=4,89$

Das Verhalten des inspiratorischen Reservevolumens der männlichen VP im Brustbereich (Luft I = vor dem Bad, Luft II = nach dem Bad).

	<u>Luft I</u>	<u>Wasser</u>	<u>Luft II</u>
	40,40	45,20	41,65
	17,85	26,80	20,60
	19,75	23,85	20,50
	19,85	24,85	17,95
	<u>29,80</u>	<u>32,75</u>	<u>32,85</u>
Summe:	127,65	153,45	133,55
Durchschnitt:	$127,65:5=25,53$	$153,45:5=30,69$	$133,55:5=26,71$

(Tab. 4 b)

Das Verhalten des expiratorischen Reservevolumens der weiblichen VP im Bauchbereich (Luft I = vor dem Bad, Luft II = nach dem Bad).

	<u>Luft I</u>	<u>Wasser</u>	<u>Luft II</u>
	-1,00	-5,70	-2,60
	2,65	-2,70	2,85
	1,15	-6,75	1,75
	2,05	-7,80	-2,95
	<u>-2,00</u>	<u>-3,50</u>	<u>-2,50</u>
Summe:	2,85	-26,45	-3,45
Durchschnitt:	2,85:5=0,57	-26,45:5=-5,29	-3,45:5=-0,69

Das Verhalten des inspiratorischen Reservevolumens der weiblichen VP im Bauchbereich (Luft I = vor dem Bad, Luft II = nach dem Bad).

	<u>Luft I</u>	<u>Wasser</u>	<u>Luft II</u>
	15,15	17,85	13,40
	-3,80	0,60	-2,10
	6,75	11,00	6,65
	-8,40	7,90	3,25
	<u>-3,00</u>	<u>0,40</u>	<u>-5,04</u>
Summe:	6,70	37,75	16,16
Durchschnitt:	6,70:5=1,34	37,75:5=7,55	16,16:5=3,23

(Tab. 4 c)

Das Verhalten des expiratorischen Reservevolumens der männlichen VP im Bauchbereich (Luft I = vor dem Bad, Luft II = nach dem Bad).

	<u>Luft I</u>	<u>Wasser</u>	<u>Luft II</u>
	-5,35	-21,65	-3,45
	-3,90	-16,50	-3,25
	6,75	- 8,40	8,00
	7,35	-13,80	8,30
	<u>-10,25</u>	<u>-24,50</u>	<u>-11,95</u>
Summe:	-5,40	-84,85	-2,35
Durchschnitt:	$-5,40:5=-1,08$	$-84,85:5=-16,97$	$-2,35:5=-0,47$

Das Verhalten des inspiratorischen Reservevolumens der männlichen VP im Bauchbereich (Luft I = vor dem Bad, Luft II = nach dem Bad).

	<u>Luft I</u>	<u>Wasser</u>	<u>Luft II</u>
	21,50	33,60	16,15
	2,10	12,95	2,05
	20,20	29,95	15,45
	15,40	24,15	14,85
	<u>-18,20</u>	<u>11,20</u>	<u>-17,95</u>
Summe:	41,00	111,85	30,55
Durchschnitt:	$41,00:5=8,20$	$111,85:5=22,37$	$30,55:5=6,11$

(Tab. 4 d)

3. Frequenz

Bei insgesamt sechs VP, fünf männlichen und einer weiblichen, wurde jeweils die Anzahl der Atemzüge pro Minute in einem Zeitraum von zehn Minuten vor Beginn des Bades, während eines zehnminütigen Aufenthaltes im Wasser und innerhalb von zehn Minuten nach Beendigung des Bades gemessen. Für die vier anderen weiblichen VP ergaben sich keine ablesbaren Werte.

Bei drei der fünf männlichen VP zeigte sich im Wasser eine Zunahme der Atemfrequenz und während der Zehn-Minuten-Phase nach dem Bad wieder eine Abnahme. In den beiden anderen Fällen ergab sich das umgekehrte Verhältnis.

Bei der einen weiblichen VP, deren Werte gemessen werden konnten, zeigte sich im Wasser eine Abnahme und nach Beendigung des Bades ein weiteres Absinken der Atemfrequenz.

Die aus Tabelle (5) ersichtlichen Durchschnittswerte der männlichen VP zeigen ein leichtes Ansteigen der mittleren Atemfrequenz im Wasser gegenüber dem vor dem Bad errechneten Mittelwert und ein geringfügiges Absinken unter den Ausgangswert während der Zehn-Minuten-Spanne nach dem Bad.

Die Kurve (2 b, S.46), die auch die Werte der einen weiblichen VP berücksichtigt, zeigt ungefähr denselben Verlauf, wie bei der Tabelle (5) beschrieben.

Das Verhalten der Atemfrequenz der weiblichen VP (Atemzüge/Minute).

<u>Luft I</u>	<u>Wasser</u>	<u>Luft II</u>
7,4	7,0	5,8

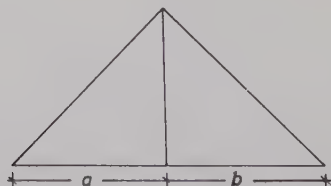
Das Verhalten der Atemfrequenz der männlichen VP (Atemzüge/Minute).

	<u>Luft I</u>	<u>Wasser</u>	<u>Luft II</u>
	19,0	21,6	18,6
	13,8	11,2	12,0
	10,4	8,4	10,0
	18,0	22,6	17,0
	<u>17,4</u>	<u>20,6</u>	<u>18,0</u>
Summe:	78,6	84,4	75,6
Durchschnitt:	$78,6:5=15,72$	$84,4:5=16,88$	$75,6:5=15,12$

(Tab. 5)

4. Quotient von Inspirations- und Expirationsdauer

Es wurden die Quotienten aus Inspiration (Zeitspanne vom Beginn des Atemzuges bis zum Erreichen der maximalen Amplitude) und Expiration (Zeitspanne zwischen maximaler Amplitude und erfolgter Ausatmung der Inspirationsluft) bei vier männlichen und zwei weiblichen VP ermittelt.



$$\frac{a}{b}$$

Bei einer männlichen und drei weiblichen VP ergaben sich keine ablesbaren Werte.

Bei allen vier männlichen VP zeigte sich im Wasser gegenüber der Luft eine Zunahme des Quotienten. Nach dem Bad ergab sich in drei Fällen eine Abnahme, in einem Fall eine Zunahme.

Auch bei den beiden weiblichen VP wurde während des Bades eine Zunahme des Quotienten registriert. Bei einer von beiden zeigte sich innerhalb von 10 Minuten nach Beendigung des Bades eine Abnahme, bei der anderen eine weitere Zunahme des Quotienten.

Die Tabelle (6) zeigt einen Anstieg der Werte der männlichen VP im Wasser und nach dem Bad im Mittel einen Abfall etwas unter den durchschnittlichen Ausgangswert.

Der Durchschnittswert der weiblichen VP zeigt nach einem Anstieg im Wasser ein Absinken auf ein etwas über dem Ausgangswert liegendes Niveau.

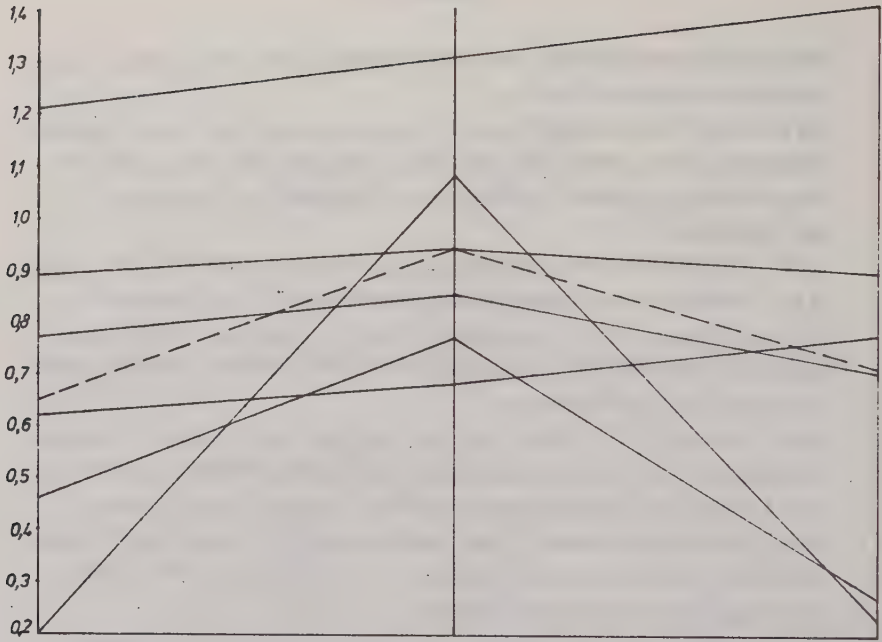
Das Verhalten des Quotienten der weiblichen VP.

	<u>Luft I</u>	<u>Wasser</u>	<u>Luft II</u>
	0,20	1,08	0,23
	<u>1,21</u>	<u>1,31</u>	<u>1,40</u>
Summe:	1,41	2,39	1,63
Durchschnitt:	1,41:2=0,7	2,39:2=1,2	1,63:2=0,82

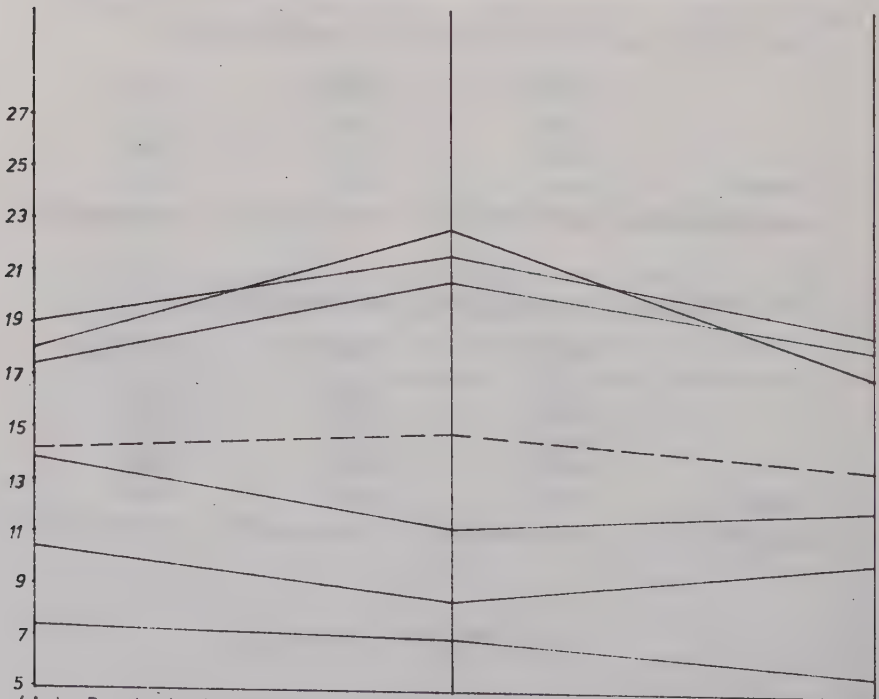
Das Verhalten des Quotienten der männlichen VP.

	<u>Luft I</u>	<u>Wasser</u>	<u>Luft II</u>
	0,77	0,85	0,70
	0,46	0,77	0,27
	0,89	0,94	0,89
	<u>0,62</u>	<u>0,68</u>	<u>0,77</u>
Summe:	2,74	3,24	2,63
Durchschnitt:	2,74:4=0,685	3,24:4=0,81	2,63:4=0,66

(Tab. 6)



(a) Durchschnittswerte der Quotienten aus Inspiration und Expiration im Liegen



(b) Durchschnittswerte der Frequenzen im Liegen
Kurve 2

Die Werte der weiblichen VP stellen jedoch kein repräsentatives Ergebnis dar, da die Größen der anderen drei weiblichen VP nicht berücksichtigt werden konnten.

Kurve (2 a) zeigt für die vier männlichen und zwei weiblichen VP insgesamt im Durchschnitt einen deutlichen Anstieg des Quotienten während der 10 Minuten im Wasser und ein Absinken auf ein noch über dem Ausgangswert liegendes Niveau.

F. Diskussion

1. Umfangsänderung

Zunächst sollen die von uns bezüglich der durch den hydrostatischen Druck im Bad bewirkten Änderungen des Brust- und Bauchumfangs gefundenen Ergebnisse mit den von Strasburger (34) angegebenen Werten verglichen werden. Strasburger stellte eine Abnahme des Brustumfangs von 1 cm bis 3,5 cm fest, was unserem Ergebnis entspricht. Beim Bauchumfang registrierte er eine Abnahme zwischen 2,5 cm und 6,5 cm, während sich bei unseren Untersuchungen Werte zwischen 3,1 cm und 5,9 cm ergaben. Obwohl hier also keine absolute Übereinstimmung besteht, kann man doch sagen, daß die von Strasburger gefundenen Ergebnisse durch unsere Untersuchungen weitgehend bestätigt wurden.

Bei unseren Versuchen ergab sich, bezogen auf alle zehn VP, für den Brustumfang eine mittlere Abnahme von 2 cm, für den Bauchumfang von 4,4 cm. Die Ursache der mehr als doppelt so großen Umfangsabnahme im Bauchbereich dürfte, wie auch Strasburger meint, die größere Nachgiebigkeit der Bauchmuskulatur sein, während die knöcherne Struktur des Thorax dem hydrostatischen Druck einen größeren Widerstand entgegensetzt.

Der stärkste Abfall bzw. Anstieg der Umfangsänderungen wurde beim Ein- bzw. Austauchen beobachtet, wogegen die weiteren Änderungen während des Bades und nach dem Austauchen geringer waren und langsamer zustandekamen. Dieses Phänomen ist möglicherweise damit zu erklären, daß der hydrostatische Druck einmal eine direkte, einmal eine indirekte Wirkung ausübt. Die direkte Wirkung verursacht die rapiden Änderungen beim Ein- bzw. Austauchen. Die langsam erfolgenden Umfangsänderungen lassen sich möglicherweise mit Ergebnissen in Verbindung bringen, die Comroe (4) bei seinen Unterwasserforschungen fand. Er sagt, daß der Wasserdruck, der in 135 cm Tiefe (was einem Druck von 100 mg Hg entspricht) auf den Thorax des Menschen von außen ein-

wirkt, den Effekt der Arbeit seiner Inspirationsmuskeln absorbiert. Daraus schließt er, daß die Atemmuskulatur einem derart hohen Druck, sei es in der Luft oder im Wasser, nur für kurze Zeit standhalten kann.

Bezogen auf unseren Versuch könnte das bedeuten, daß die Atemmuskulatur den hydrostatischen Druck kurze Zeit toleriert und dann, aufgrund der geringeren Wassertiefe, nur langsam nachgibt.

Auch die Untersuchungsergebnisse von Moll (24) seien an dieser Stelle erwähnt, der die Beständigkeit der Volumenverminderung auf das Auspressen von Gewebssaft und Lymphe zurückführt.

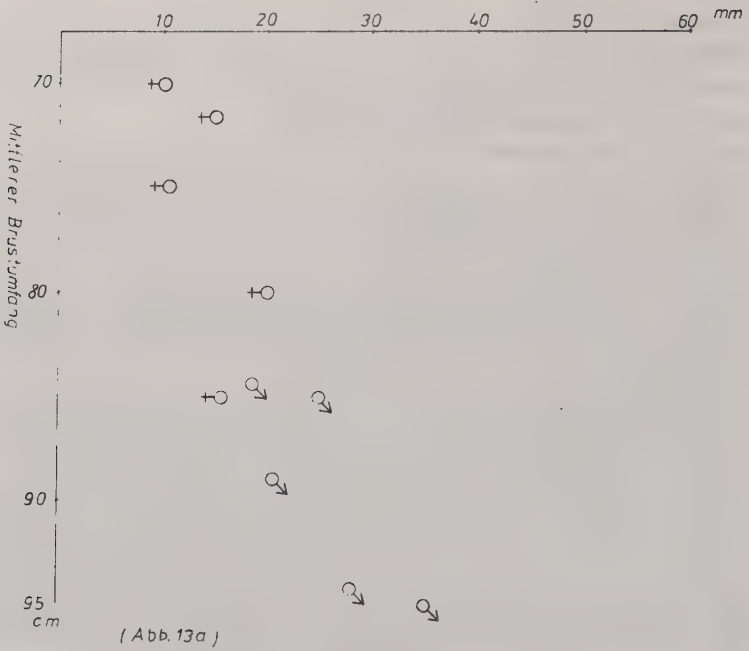
Besonders auffällig waren bei unseren Untersuchungen die großen Unterschiede bei den Umfangsänderungen der männlichen VP einerseits und der weiblichen VP andererseits, sowohl was Brust- als auch Bauchumfang betrifft. Die Umfangsabnahme im Brustbereich betrug bei den männlichen VP im Durchschnitt 2,53 cm gegenüber 1,42 cm bei den weiblichen VP. Der Bauchumfang nahm bei den männlichen VP im Mittel um 5,33 cm, bei den weiblichen VP um 3,43 cm ab.

Abbildung (13 a) zeigt eine gewisse Abhängigkeit der Umfangsabnahme im Brustbereich vom ursprünglichen Brustumfang in der Weise, daß ein größerer Umfang, wie dies bei den männlichen gegenüber den weiblichen VP der Fall war, auch eine größere Umfangsabnahme zur Folge hat.

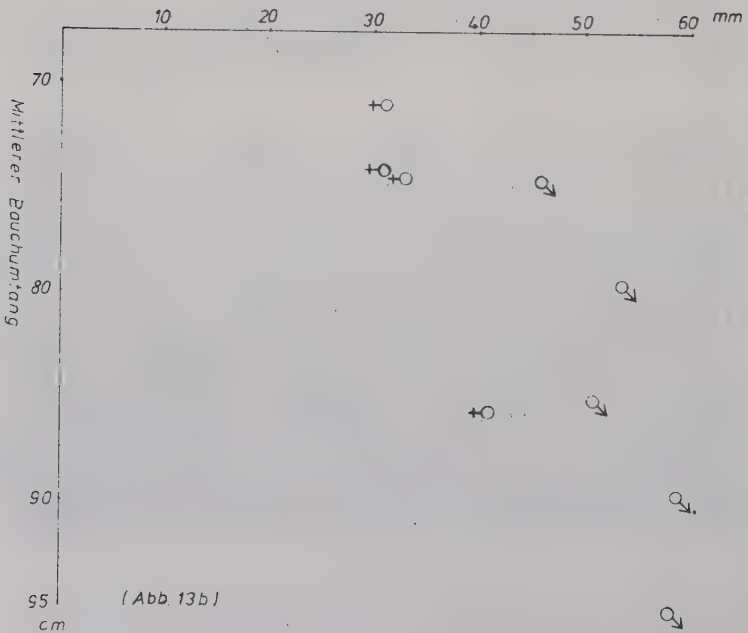
In Abbildung (13 b) ist diese Beziehung für den Bauchbereich nur in einigen Fällen festzustellen. Hier zeigen einzelne männliche VP mit gleichem oder sogar kleinerem ursprünglichem Bauchumfang als weibliche VP eine größere Umfangsabnahme als diese. Daraus kann man schließen, daß die Größe der Umfangsabnahme noch andere, offenbar geschlechtsspezifische Ursachen hat. Eine Erklärung könnte darin zu suchen sein, daß, wie Rein - Schneider (26) schreibt, bei Männern die abdominale Atmung überwiegt: mit der Abflachung des Zwerchfells erfolgt eine Verschiebung der Baueingeweide nach unten, was eine leichte Vorwölbung der Bauchwand zur Folge hat. Dieses Überwiegen der

- 50 -

Abnahme des Brustumfangs nach 10' Bad



Abnahme des Bauchumfangs nach 10' Bad



abdominalen Atmung bei Männern könnte zu einer stärkeren Komprimierbarkeit ihres Abdomens führen, was die größere Umfangsabnahme unter der Einwirkung des hydrostatischen Druckes erklären würde. Infolge dieser Druckwirkung nimmt die abdominale zugunsten der thorakalen Atmung ab.

Eine ähnliche Beziehung ergibt sich bei der negativen Bilanz, d. h. bei derjenigen Umfangsabnahme, die nach der nach Beendigung des Bades erfolgten Wiederzunahme noch verbleibt. Diese negative Bilanz beträgt im Brustbereich bei den männlichen VP durchschnittlich 0,81 cm gegenüber 0,41 cm bei den weiblichen VP, im Bauchbereich 0,62 cm im Vergleich zu 0,45 cm. Es konnte festgestellt werden, daß mit einem größeren Umfang eine größere negative Bilanz einhergeht.

2. Änderung der Atemgrößen

a) Maximale Amplitude

Die Tabellen (3 a) und (3 b) zeigen im Durchschnitt wieder wesentlich größere Meßwerte bei den männlichen gegenüber den weiblichen VP, was besonders für den Brustbereich zutrifft. Dies steht vermutlich ebenfalls mit den größeren ursprünglichen Umfängen der männlichen VP in Zusammenhang. Wolf G. und Heidegger (38) schreiben in diesem Zusammenhang, die maximale Atemamplitude betrage beim Mann 8 cm bis 10 cm, bei der Frau dagegen nur 7 cm bis 9 cm.

Vergleicht man unsere Meßwerte mit den Normalwerten der Atmung, die beispielsweise Grosse- Brockhoff (17) bei seinen Lungenvolumenmessungen fand, (Tab. 7), dann kann man auch hier feststellen, daß die Werte der männlichen VP über denen der weiblichen VP liegen.

	Frauen	Männer
Atemvolumen (ml)	500	500
Inspiratorisches Reservevolumen (ml)	2100	3000
Expiratorisches Reservevolumen (ml)	900	1000
Vitalkapazität (ml)	3500	4500
Residualvolumen (ml)	1100	1500
Funktionelles Residualvolumen (ml)	2000	2500
Totalkapazität (ml)	4600	6000
Residualvolumen in % der Totalkapazität (ml)	24	25

(Tab. 7) Lungenvolumina bei Gesunden (20-40 Jahre)

Die Messungen während des Bades zeigen bei den einzelnen VP große individuelle Unterschiede. Bei einigen der VP, und zwar sowohl bei männlichen als auch bei weiblichen, ließ sich im Wasser eine Zunahme der maximalen Amplitude feststellen. Dafür könnte folgende Erklärung zutreffen: In Luft wird der Thorax beim tiefen Einatmen durch zusätzliche (auxiliäre) Muskeln gedehnt, was eine Vergrößerung des Brustumfangs z. B. von 90 cm auf 95 cm zur Folge hat. Bei der Inspiration handelt es sich hierbei um die musculi scaleni, sternocleidomastoideus, pectoralis minor, serratus posterior superior, bei der Expiration um die Bauchmuskeln und die musculi intercostales interni. In Wasser wird der Thorax durch die Wirkung des hydrostatischen Druckes komprimiert, sein Umfang nimmt z. B. auf 88 cm ab. Beim tiefen Einatmen in Wasser steigt der Brustumfang, je nach Stärke der auxiliären Muskulatur, wieder auf maximal 95 cm an. Die Dehnbarkeit des Thorax nimmt in diesem Fall in Wasser um 2 cm zu. Daraus folgt, daß bei genügend kräftiger Ausbildung dieser Hilfsatemmuskulatur die maximale Amplitude während des Bades ansteigen kann.

Die bei einigen VP beobachtete Abnahme der maximalen Amplitude während des Bades ist möglicherweise mit der schwächeren auxiliären Muskulatur dieser VP zu erklären, die die Wirkung des hydrostatischen Druckes nicht ganz überwinden und zu keiner größeren Zunahme des Brustumfangs und damit der maximalen Amplitude verhelfen kann.

b) Expiratorisches und inspiratorisches Reservevolumen

Wie aus den Tabellen (4 a, b, c, d) ersichtlich ist, nimmt das expiratorische Reservevolumen im Bauchbereich bei allen, im Brustbereich bei acht von zehn VP im Wasser ab. Der Grund dafür dürfte sein, daß im Wasser bereits durch die Einwirkung des hydrostatischen Druckes ein Teil der expiratorischen Reserveluft ausgepreßt wird. Da beim tiefen Ausatmen nur die noch verbleibende expiratorische Reserveluft ausgeatmet werden kann, ergeben sich geringere

Werte.

Das inspiratorische Reservevolumen dagegen zeigt im Bauchbereich bei allen, im Brustbereich bei acht von zehn VP im Wasser eine Zunahme. Die Ursache könnte wieder darin zu suchen sein, daß der hydrostatische Druck einen Teil der expiratorischen Reserveluft auspreßt. Infolgedessen kann beim tiefen Einatmen ein größeres inspiratorisches Reservevolumen aufgenommen werden.

c) Frequenz

Rumpf (27) fand bei seinen Untersuchungen zum Teil eine Abnahme der Atemfrequenz im Bad. Witzleb (37) dagegen stellte fest, die Atemfrequenz bleibe praktisch unverändert. Krüger und Budelmann (22) wiederum konstatierten ein Flacher- und Frequenterwerden der Atmung, wogegen Kramer und Sarre (21) ein wechselndes Verhalten der Atemfrequenz im Wasser beobachteten.

In unseren Untersuchungen fanden wir die Ergebnisse von Kramer und Sarre weitgehend bestätigt. Bei drei der sechs VP fand sich im Wasser ein Anstieg, beim Rest ein Absinken der Atemfrequenz. Insgesamt war ein leichter Anstieg festzustellen. Allerdings fehlen dabei die Ergebnisse von vier der fünf weiblichen VP, da bei ihnen keine ablesbaren Werte festgestellt werden konnten. Dieser Umstand läßt allgemein bei weiblichen Personen eine flachere Atmung als bei männlichen Personen vermuten.

d) Quotient

Bei sämtlichen VP fand sich im Wasser ein Anstieg des Quotienten aus Inspirations- und Expirationsdauer. Um diesen Vorgang zu erklären, soll zuerst kurz auf die Mechanismen der Ruheatmung eingegangen werden:

Bei der Inspiration werden durch Kontraktion der Atemmuskulatur, durch die die Inspiration als aktiver Vorgang gekennzeichnet ist, die Rippen und das Brustbein gehoben; das Zwerchfell dagegen gesenkt. Dadurch ergibt sich eine

Vergrößerung des Tiefen- und Längsdurchmessers des Thorax. Infolge dieser Vergrößerung entfalten sich die Lungen, da die zwischen Pleura parietalis und visceralis befindliche capilläre Flüssigkeitsschicht nicht dehnbar ist. Nachdem durch die Thoraxvergrößerung in der Lunge ein Unterdruck gegenüber der Atmosphäre entstanden ist, strömt bis zum Druckausgleich Luft in die Lunge ein.

Diesem Vorgang, der zur Ausdehnung der Lunge führt, wirken normalerweise vier Kräfte entgegen: 1. Der elastische Widerstand von Lunge und Thorax, 2. der Strömungswiderstand in den Luftwegen, 3. der Reibungs- bzw. Deformationswiderstand nichtelastischer Elemente, 4. der Trägheitswiderstand.

Die Expiration ist im wesentlichen ein passiver Vorgang: Die Spannung in der Atemmuskulatur läßt nach, wodurch eine Verkleinerung des Brustraums und der Lungenhohlräume bewirkt wird. Diese passive Verkleinerung des Thoraxinnenraumes wird noch verstärkt durch die elastischen Kräfte der Lunge, gegen die sie vorher gedehnt wurde. Dabei wird das erschlaffende Zwerchfell nach oben gezogen.

Bei in Wasser befindlichen Personen werden diese Vorgänge durch den hydrostatischen Druck beeinflusst. Während der Inspiration addiert sich zu den vier oben genannten Widerständen, die der Ausdehnung der Lunge entgegenwirken, noch die Wirkung des hydrostatischen Druckes. Dies führt zu einer Erschwerung der Inspiration bzw. Verlängerung der Inspirationsphase. Bei der Expiration dagegen bewirkt der hydrostatische Druck eine Beschleunigung der oben beschriebenen Expirationsvorgänge und führt damit zu einer Verkürzung der Expirationszeit.

Auch Kramer und Sarre (21) stellten 1936 fest, daß durch den Wasserdruck die Inspiration erschwert, die Expiration erleichtert wird. Diringshofen (5) nutzte diese Erkenntnis für die Therapie von Krankheiten, die durch Störungen der Ausatmung bedingt sind, was bei Emphysem, Bronchiektasen und Asthma bronchiale der Fall ist. Bei Störungen der Einatmung dagegen sind Bäder mit hohem Wasserstand zu vermeiden.

G. Zusammenfassung

- 1) Die Arbeit stellt eine Auswertung der von K. Kaiser durchgeführten Untersuchungen über die Wirkung des hydrostatischen Druckes im thermoindifferenten Bad dar. Bei je fünf weiblichen und fünf männlichen VP sollte in insgesamt 48 Versuchen festgestellt werden, wie sich Brust- und Bauchumfang und Atemgrößen unter dem Einfluß der hydrostatischen Druckwirkung verhalten.
- 2) Während einer Zehn-Minuten-Spanne vor dem Bad, während des zehnminütigen Aufenthaltes im Wasser und zehn Minuten lang nach dem Bad wurden bei sämtlichen VP Brust- und Bauchumfang sowie Atemgrößen fortlaufend gemessen. Während jeder Meßperiode sollten die VP jeweils viermal maximal ein- und ausatmen.
- 3) Die VP wurden mit um Brust und Bauch befestigten Meßgeräten, auf einem Traggestell liegend, ins Wasser gesenkt. Die Änderungen wurden mittels eines nicht dehnbaren Nylondrahtes, der um Brust- und Bauchumfang lief, gemessen, mit einem Ringpotentiometer in elektrische Schwankungen umgewandelt und durch einen Schreiber aufgezeichnet.
- 4) Um zu brauchbaren Ergebnissen zu kommen, wurde vor und nach jedem Versuch eine Eichung vorgenommen.
- 5) Bei sämtlichen VP zeigte sich während des Bades eine Abnahme der gemessenen Umfänge, und zwar im Brustbereich um durchschnittlich 2 cm, im Bauchbereich um 4,4 cm. Nachdem die Umfänge während der zehn Minuten nach dem Bad wieder zugenommen hatten, ergab sich schließlich eine negative Bilanz im Brustbereich von durchschnittlich 0,7 cm, im Bauchbereich von 0,5 cm. Die stärkste Ab- bzw. Zunahme der Umfänge zeigte sich bei allen VP beim Ein- bzw. Austauchen. Weitere langsame Umfangsänderungen erfolgten während des Bades und nach dem Austauchen.
- 6) Es fiel auf, daß die Umfangsab- bzw. zunahmen bei den männlichen VP deutlich über denen der weiblichen VP lagen. Dies schien im Brustbereich mit den größeren ursprünglichen Umfängen der männlichen VP zusammenzu-

hängen. Bei den Bauchumfangsmessungen konnte diese Beziehung nicht in allen Fällen nachgewiesen werden. Der Grund für die größere Umfangsabnahme bei den männlichen VP in diesem Bereich könnte darin liegen, daß die überwiegend abdominale Atmung bei Männern zu einer stärkeren Komprimierbarkeit ihres Abdomens führt.

- 7) Es wurden außerdem in jeder der unter Punkt 3 genannten Meßphasen folgende Atemgrößen gemessen: Maximale Amplitude, Frequenz und Quotient.

a) Die maximale Amplitude verhielt sich bei den einzelnen VP sehr unterschiedlich. Sowohl im Brust- als auch im Bauchbereich wurde bei VP beiderlei Geschlechts in einigen Fällen eine Abnahme, in einigen Fällen eine Zunahme der maximalen Amplitude beobachtet. Allerdings liegen auch hier die Durchschnittswerte der männlichen VP insgesamt in allen drei Phasen der Messung über denen der weiblichen VP.

b) Bezüglich der Frequenzmessungen ergaben sich bei vier der fünf weiblichen VP keine ablesbaren Werte, was bei weiblichen Personen auf eine flachere Atmung schließen läßt. Die Atemfrequenz der sechs übrigen VP verhielt sich unterschiedlich, insgesamt war jedoch im Wasser ein leichter Anstieg, nach dem Bad ein geringfügiges Absinken unter den Ausgangswert festzustellen.

c) Bei den Messungen der Quotienten aus Inspirations- und Expirationsdauer konnten für eine männliche und drei weibliche VP keine Werte festgestellt werden. Bezogen auf die übrigen VP war während des Bades bei allen ein deutlicher Anstieg des Quotienten, nach dem Bad im Durchschnitt ein Absinken auf ein noch über dem Ausgangswert liegendes Niveau zu verzeichnen.

- 8) Drexel, H. Hydro- und Thermotheapie.
 (Habil.schrift)
- 9) Ebbecke, U. Über die Erregbarkeitsgrade
 beim Eintauch- und Schluckre-
 flex.
 (1.Pflüg.Arch., 247, 22; 1943)
- 10) Gauer, O.H. Die hydrostatische Wirkung von
 Bädern auf den Kreislauf.
 (Dtschemed.J. 6, 462; 1955)
- 11) Gillert, O. Hydrotherapie und Balneothera-
 pie in Theorie und Praxis.
 (München, 1971)
- 12) Glax, J. Lehrbuch der Balneotherapie.
 (Stuttgart, 1897)
- 13) Göpfert, H. Atmungsregistrierung am Menschen
 durch fortlaufende Messung mit
 einer Impedanz-Meßbrücke.
 (Berichte ü.d.ges.Biol.,Phys.
 u.exper.Pathol., 172, 151;
 Heidelberg 1955)
- 14) Gollwitzer- Kreislauf und Atmung im Bad.
 Meier, K. (Balneologie 2, 289; 1935)
- 15) Gollwitzer- Über die Beziehungen zwischen
 Meier, K. Gaswechsel und Herzminutenvo-
 lumen in Bädern verschiedenen
 Wärmegrades.
 (Balneologie 4, 58; 1937)
- 16) Grober, I. Klinisches Lehrbuch der physi-
 kalischen Therapie.
 (VEB Gustav Fischer-Verlag,
 Jena 1963, Abschnitt Hydro-
 und Thermotheapie von H.Dre-
 xel)

- 17) Grosse-
Brockhoff, F. Pathologische Physiologie.
(2.Aufl., Berlin-Heidelberg-
New York, 1969)
- 18) Hildebrandt, G. u.
Engelbertz, P. Bedeutung der Tagesrhythmik
für die physikalische Thera-
pie.
(Arch.phys.Ther., V, 2, 160;
1953)
- 19) Kaiser, K. Unterlagen seiner Versuche
nach persönlicher Absprache.
- 20) Kramer, K. Neue Untersuchungen über den
Gaswechsel im Bad.
(Klin. Wo.schr. 15, 41; 1936)
- 21) Kramer, K. u.
Sarre, H. Die Veränderungen der respira-
torischen Mittellage im Bad
und ihre Folgen für Atmung und
Kreislauf.
(Klin. Wo.schr. 15, 473; 1936)
- 22) Krüger, E. u.
Budelmann, G. Über den Einfluß des indiffe-
renten Bades auf intrapleura-
len Druck und Venendruck.
(Zs.f.klin.Med. 129, 178; 1936)
- 23) Matthes, M. Lehrbuch der Hydrotherapie.
(2.Aufl., 1903)
- 24) Moll, K.v. Die Bedeutung des Wasserdruck-
kes beim Stehbad.
(Zs.f.exper.Med. 72, 244; 1930)
- 25) Reichel, G. u.
Ulmer, W.T. Die Lungenfunktion.
(Stuttgart, 1970)
- 26) Rein, H. u.
Schneider, M. Einführung in die Physiologie
des Menschen.
(Berlin, 1971)

- 27) Rumpf, K. Pneumotachographische Untersuchungen an Gesunden, Emphysematikern und Herzkranken im Bad.
(Zs.f.ges.exper.Med. 101, 493; 1937)
- 28) Sarre, H. Die Veränderungen der respiratorischen Mittellage im Bad.
(Balneologie 2, 101; 1935)
- 29) Sarre, H. Ein Verfahren zur fortlaufenden Messung der respiratorischen Mittellage.
(Klin.Wo.schr. 15, 341; 1936)
- 30) Schott, E. Die hydrostatische Druckwirkung auf das venöse System als additioneller Faktor bei der Wirkung von Bädern.
(Dtsch.Arch.f.klin.Med., 140, 358; 1922)
- 31) Schott, E. Kritisches Sammelreferat über Kreislaufwirkungen von indifferenten Bädern.
(Dtsche.med.Wo.schr. 28, 933; 1923)
- 32) Sjöström, L. Über den Einfluß der Temperatur der umgebenden Luft auf die Kohlensäureabgabe beim Menschen.
(Leipzig, 1918)
- 33) Strasburger, J. Über Blutdruck, Gefäßtonus und Herzarbeit bei Bädern verschiedener Temperatur und bei kohlen-säurehaltigen Solbädern.
(Dtsch.Arch.kl.Med.82, 459; 1905)

- 34) Strasburger, J. Einführung in die Hydrothera-
pie und Thermotherapie.
(Jena, 1909)
- 35) Tigerstedt, C. Über die Einwirkung von Bäd-
dern auf den Kreislauf.
(Scand.Arch.Physiol., 36, 322;
Berlin 1918)
- 36) Vogt, H. Lehrbuch der Bäder- und Klima-
heilkunde.
(Berlin, 1940)
- 37) Witzleb, E. In: Handbuch der Bäder- und
Klimaheilkunde: Amelung, W.
und Evers.
(Berlin, 1962)
- 38) Wolf, G. u.
Heidegger Über den Einfluß systematisch
betriebener Leibesübungen auf
den Thoraxumfang der Frau.
(Schweiz.med.Wo.schr., 83,
917; 1953)

Herrn Prof. Dr. H. Drexel und Herrn Dipl.-Phys. K. Dirnagl
danke ich für die Überlassung des Themas, für viele wert-
volle Anregungen und für die freundliche Unterstützung,
die mir bei meiner Arbeit jederzeit gewährt wurde.

Lebenslauf

Am 14.2.1942 wurde ich als Sohn des Kaufmanns Radjabali Ghafari - Nazari und seiner Ehefrau Zahra, geb. Nazari, in Teheran geboren.

Von 1949 bis 1955 besuchte ich in Teheran die Volksschule und ging anschließend auf das Gymnasium. Nach dem Abitur im Jahre 1961 leistete ich bis 1964 meinen Armeedienst ab. Ich entschloß mich dann, in Deutschland Medizin zu studieren und besuchte ab Januar 1966 in München die "Deutschkurse für Ausländer" der Münchner Universität. Von Oktober 1966 an besuchte ich ein Jahr lang das Studienkolleg. 1967 begann ich mein Medizinstudium an der Universität München, wo ich 1970 das Physikum und im April 1974 das Staatsexamen ablegte.

Von Dezember 1974 an leistete ich meine einjährige Medizinalassistentenzeit im Kreiskrankenhaus Kelheim ab.

Seit Dezember 1975 arbeite ich dort im Rahmen der internen Facharztweiterbildung als Assistenzarzt an der Röntgenabteilung des Hauses.

